



TESIS SF 142501

**APLIKASI METODE *VERY LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC* (VLF-EM) UNTUK  
KARAKTERISASI BAWAH PERMUKAAN  
DI DAERAH KAPUR DESA MELIRANG  
KECAMATAN BUNGAH  
KABUPATEN GRESIK**

Eko Hadi Purwanto  
NRP 1113201036

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. rer. nat. Eko Minarto, S.Si, M.Si  
Dr. Ayi Syaeful Bahri, M.T

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN FISIKA BUMI  
JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015



TESIS SF 142501

**APPLICATION OF VERY LOW FREQUENCY  
ELECTROMAGNETIC (VLF-EM) METHOD  
FOR CHARACTERIZATION OF SUBSURFACE  
IN LIMESTONE AREAS MELIRANG VILLAGE  
OF THE BUNGAH REGION AT GRESIK**

Eko Hadi Purwanto  
NRP 1113201036

SUPERVISOR  
Dr. rer. nat. Eko Minarto, S.Si, M.Si  
Dr. Ayi Syaeful Bahri, M.T

MAGISTER PROGRAM  
STUDY ON GEOPHYSICS  
DEPARTMENT OF PHYSICS  
FACULTY OF MATHEMATIC AND NATURAL SCIENCE  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015



**APLIKASI METODE *VERY LOW FREQUENCY*  
*ELECTROMAGNETIC* (VLF-EM) UNTUK KARAKTERISASI  
BAWAH PERMUKAAN DI DAERAH KAPUR  
DESA MELIRANG KECAMATAN BUNGAH  
KABUPATEN GRESIK**

**Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Sains (M.Si)**

**di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Oleh:**

**Eko Hadi Purwanto  
NRP. 1113201036**

**Tanggal Ujian : 24 Juni 2015  
Periode Wisuda : September 2015**

**Disetujui Oleh:**

**1. Dr. rer. nat. Eko Minarto, S.Si, M.Si.  
NIP. 19750205 199903 1 004**

  
(Pembimbing I)

**2. Dr. Ayi Syaeful Bahri, M.T.  
NIP. 19690906 199702 1 001**

  
(Pembimbing II)


**3. Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya S, SU.  
NIP. 19620802 198701 1 001**

  
(Penguji I)

**4. Dr. rer. nat. Bintoro Anang S, M. Si.  
NIP. 19790719200501 1 015**

  
(Penguji II)

**Direktur Program Pascasarjana**

  
**Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.  
NIP. 19640405 199002 1 001**



# **APLIKASI METODE *VERY LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC* (VLF-EM) UNTUK KARAKTERISASI BAWAH PERMUKAAN DI DAERAH KAPUR DESA MELIRANG KECAMATAN BUNGAH KABUPATEN GRESIK**

Nama :Eko Hadi Purwanto  
NRP :1113201036  
Pembimbing :1. Dr. rer. nat. Eko Minarto, S.Si, M.Si  
2. Dr. Ayi Syaeful Bahri, M.T

## **ABSTRAK**

Metode *Very Low Frequency Electromagnetic* (VLF-EM) merupakan metode geofisika yang cepat dan ramah lingkungan. Metode ini termasuk dalam kategori metode pasif, dimana sumber gangguan gelombang elektromagnetik tidak dibangkitkan sendiri melainkan berasal dari sumber yang sangat jauh. Metode ini menggunakan gelombang radio dengan frekuensi yang sangat rendah (15-30 kHz), yang biasanya dipergunakan dalam sistem navigasi kapal selam. Rentang frekuensi metode VLF-EM ini, memungkinkan daya penetrasi kedalaman yang cukup dalam eksplorasi batuan dolomit di daerah kapur. Dengan alasan tersebut, metode VLF-EM akan digunakan pada penelitian ini dengan tujuan untuk mengkarakterisasi bawah permukaan dan menentukan sebaran batuan dolomit daerah kapur di Desa Melirang, Kecamatan Bungah, Kabupaten Gresik.

Pengambilan data lapangan dilakukan pada enam lintasan dengan panjang masing- masing 550 meter, dengan jarak spasi pengukuran 5 meter, dan jarak antar lintasan pengukuran 100, 200, dan 300 meter. Data lapangan yang diukur metode VLF-EM ini terdiri dari data: *inphase*, *quadrature*, *tilt-angle*, dan *total field*. Pemrosesan data menggunakan bahasa komputasi MATLAB R2010a, dan Inv2DVLF (Bahri, 2008) digunakan untuk mengkarakterisasi sebaran batuan dolomit di daerah penelitian. *Interpretasi data dilakukan secara* kualitatif dan kuantitatif dengan menggunakan filter Fraser, Karous-Hjelt, dan Inv2DVLF.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa filter Fraser dan Karous-Hjelt bernilai positif untuk data; *inphase*, *total field*, dan *tilt-angle*, dan bernilai negatif untuk data *quadrature*. Interpretasi data kualitatif dan kuantitatif menunjukkan batuan dolomit tersebar pada kedalaman antara 0 – 30 meter dan 50 – 70 meter dengan nilai rapat arus ekuivalen antara 120 – 300 ohm meter. Sebaran batuan dolomit di lintasan 1 pada jarak 0 - 70 meter, 250 - 400 meter, dan 540 - 550 meter, lintasan 2 pada jarak 0 - 100 meter, lintasan 3 pada jarak 0 - 50 meter dan 420 - 480 meter, lintasan 4 pada jarak 0 - 90 meter, 110 - 350 meter, 360 - 440 meter, dan 540 -



# **APLIKASI METODE *VERY LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC* (VLF-EM) UNTUK KARAKTERISASI BAWAH PERMUKAAN DI DAERAH KAPUR DESA MELIRANG KECAMATAN BUNGAH KABUPATEN GRESIK**

Nama : Eko Hadi Purwanto  
NRP : 1113201036  
Pembimbing : 1. Dr. rer. nat. Eko Minarto, S.Si, M.Si  
2. Dr. Ayi Syaeful Bahri, M.T

## **ABSTRAK**

Metode *Very Low Frequency Electromagnetic* (VLF-EM) merupakan metode geofisika yang cepat dan ramah lingkungan. Metode ini termasuk dalam kategori metode pasif, dimana sumber gangguan gelombang elektromagnetik tidak dibangkitkan sendiri melainkan berasal dari sumber yang sangat jauh. Metode ini menggunakan gelombang radio dengan frekuensi yang sangat rendah (15-30 kHz), yang biasanya dipergunakan dalam sistem navigasi kapal selam. Rentang frekuensi metode VLF-EM ini, memungkinkan daya penetrasi kedalaman yang cukup dalam eksplorasi batuan dolomit di daerah kapur. Dengan alasan tersebut, metode VLF-EM akan digunakan pada penelitian ini dengan tujuan untuk mengkarakterisasi bawah permukaan dan menentukan sebaran batuan dolomit daerah kapur di Desa Melirang, Kecamatan Bungah, Kabupaten Gresik.

Pengambilan data lapangan dilakukan pada enam lintasan dengan panjang masing-masing 550 meter, dengan jarak spasi pengukuran 5 meter, dan jarak antar lintasan pengukuran 100, 200, dan 300 meter. Data lapangan yang diukur metode VLF-EM ini terdiri dari data: *inphase*, *quadrature*, *tilt-angle*, dan *total field*. Pemrosesan data menggunakan bahasa komputasi MATLAB R2010a, dan Inv2DVLF (Bahri, 2008) digunakan untuk mengkarakterisasi sebaran batuan dolomit di daerah penelitian. *Interpretasi data dilakukan secara* kualitatif dan kuantitatif dengan menggunakan filter Fraser, Karous-Hjelt, dan Inv2DVLF.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa filter Fraser dan Karous-Hjelt bernilai positif untuk data: *inphase*, *total field*, dan *tilt-angle*, dan bernilai negatif untuk data *quadrature*. Interpretasi data kualitatif dan kuantitatif menunjukkan batuan dolomit tersebar pada kedalaman antara 0 – 30 meter dan 50 – 70 meter dengan nilai rapat arus ekuivalen antara 120 – 300 ohm meter. Sebaran batuan dolomit di lintasan 1 pada jarak 0 - 70 meter, 250 - 400 meter, dan 540 - 550 meter, lintasan 2 pada jarak 0 - 100 meter, lintasan 3 pada jarak 0 - 50 meter dan 420 - 480 meter, lintasan 4 pada jarak 0 - 90 meter, 110 - 350 meter, 360 - 440 meter, dan 540 -



550 meter, lintasan 5 pada jarak 30 - 60 meter, 120 - 240 meter, 380 - 500 meter, dan lintasan 6 pada jarak 170 - 290 meter. Hasil penelitian ini juga divalidasi dengan menggunakan data geolistrik resistivitas 2D, dimana dolomit mempunyai resistivitas sebesar 240 – 5019 ohm meter.

**Kata Kunci:** *VLf-EM, batuan dolomit, filter NA-MEMD, filter Fraser, filter Karous-Hjelt, inversi, Desa Melirang Kec. Bungah Kab. Gresik.*



# **APPLICATION OF VERY LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC (VLF-EM) METHOD FOR CHARACTERIZATION OF SUBSURFACE IN LIMESTONE AREAS MELIRANG VILLAGE OF THE BUNGAH REGION AT GRESIK**

Name :Eko Hadi Purwanto  
Student Identity Number :1113201036  
Supervisor :1. Dr. rer. nat. Eko Minarto, S.Si, M.Si  
2. Dr. Ayi Syaeful Bahri, M.T

## **ABSTRACT**

Very Low Frequency Electromagnetic (VLF-EM) method is a geophysical method that is fast and ecological. This method is category of passive methods, where in the source of electromagnetic wave interference is not raised itself but from a very distance source. This method uses radio waves at very low frequencies (15-30 kHz). Commonly used in submarine navigation systems. Frequency range VLF-EM method allows sufficient penetration depth in exploration of the dolomite in the limestone area. For this reason, VLF-EM method will be used in this study with objective to characterize the subsurface and determine the distributions of dolomite in limestone area, in Melirang Village, Distric of Bungah, Gresik.

Field data collection is conducted on six tracks with each length of 550 meters, with 5 meters spasing and inter track measurement distance are 100, 200, and 300 meters. Field data measured by VLF-EM, the data consisting of inphase, quadrature, tilt-angle, dan total field. Data processing use computational language MATLAB 2010a, and Inv2DVLF (Bahri, 2008) used to characterize the distribution of dolomite in research area. Interpretation data was conducted qualitatively and quantitatively by using a filter Fraser, Karous-Hjelt, and Inv2DVLF.

Results state that fraser Filter and Karous-Hjelt has positive value for data; inphase, total field, and the tilt angle, and negative value for quadrature data. Interpretation of qualitative and quantitative data showing that dolomite spread in between 0-30 meters and 50-70 meters depth with a value equivalent current density between 120-300 ohm meters. Distribution of dolomite rock on the first track are in distance of 0-70 meters, 250-400 meters and 540-550 meters. 2nd track in distance 0-100 meters, 3rd track is in distance of 0-50 meters and 420-480



meters, 4th track is in distance of 0-90 meters, 110-350 meters, 360-440 meters, and 540-550 meters in the 5th track distance of 30-60 meters, 120-250 meters, 380-500 meters, and the 6th track is in distance of 170-290 meters. The results of this study also calibrated by 2D resistivity data, that dolomite rock resistivity values between 240-5019 ohm meters.

**Key words:** *VLF-EM, dolomite rock, NA-MEMD filter, Fraser filter, Karous-Hjelt filter, inversion, Melirang Village District of Bungah Gresik.*



## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah, Tuhan alam semesta yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tesis dengan judul “Aplikasi Metode *Very Low Frequency Electromagnetic* (VLF-EM) untuk Karakterisasi Bawah Permukaan di Daerah Kapur Desa Melirang Kecamatan Bungah Kabupaten Gresik”.

Tesis ini merupakan hasil penelitian sebagai salah satu syarat untuk menempuh gelar Magister Sains (M.Si) pada Program Studi Magister Bidang Keahlian Geofisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis menyadari bahwa selesainya penulisan tesis ini dengan lancar karena rahmat dan hidayahNya serta bantuan dari berbagai pihak. Dengan rasa syukur penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu, Bapak, Istri tercinta Risha, Ibu mertua, Bapak mertua banyak memberikan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan penulisan tesis ini.
2. Dr.Yono Hadi Pramono, M.Eng selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA ITS, terimakasih atas bantuan yang diberikan.
3. Dr. rer. nat. Eko Minarto, S.Si, M.Si dan Dr. Ayi Syaeful Bahri, M.T, selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan penulisan tesis ini.
4. Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya S, SU dan Dr. rer. nat. Bintoro Anang S, M.Si, selaku penguji yang memberikan masukan dalam menyelesaikan penulisan tesis ini.
5. Teman-teman Dosen Universitas Abdurachman Shaleh Situbondo yang selalu memberikan motivasi dan bantuan dalam menyelesaikan penulisan tesis ini.
6. Tim geofisika ITS yaitu Bapak Kiswanto, Sungkono, Wahyu, Ari, Juan, dan Yusron yang telah membantu penelitian.
7. Sahabatku PRAS2-S2 Saintek 2012 dan Pascasarjana 2013 Jurusan Fisika FMIPA ITS yang selalu kompak.



Penulis menyadari bahwa penulisan tesis ini masih terdapat kekurangan, maka dari itu saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan untuk penelitian selanjutnya.

Surabaya, Juni 2015

Penulis



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Dolomit .....	5
2.2 Metode <i>Very Low Frequency Electromagnetic</i> (VLF-EM).....	10
2.3 Filter MEMD .....	15
2.4 Filter NA-MEMD .....	17
2.5 Filter Fraser .....	18
2.6 Filter Karous-Hjelt .....	19
2.7 <i>Forward Modelling</i> dan Inversi .....	21
2.8 <i>Finite element Method</i> (FEM) .....	23
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1 Rancangan Penelitian .....	27
3.2 Perangkat Penelitian.....	27
3.3 Lokasi Penelitian.....	28
3.4 Akuisisi Data.....	30



3.5 Pengolahan, Interpretasi, dan Analisis Data .....	30
<b>BAB 4. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>31</b>
4.1 Uji Filter NA–MEMD pada Data Sintetik .....	31
4.2 Analisis dan Pengolahan Data Lapangan .....	34
4.3 Interpretasi Data .....	43
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>45</b>
5.1 Kesimpulan .....	45
5.2 Saran .....	45
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>47</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>51</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>	<b>79</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1</b> Koefisien filter $K_{i0}^{-1}$ untuk beberapa nilai $n$ .....	20
--	----



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Dolomit .....	6
<b>Gambar 2.2</b> Peta Geologi Kabupaten Gresik .....	8
<b>Gambar 2.3</b> Keterangan Peta Geologi Kabupaten Gresik .....	9
<b>Gambar 2.4</b> Distribusi medan elektromagnetik untuk metode VLF-EM dalam polarisasi listrik dengan sinyal diatas sebuah dike konduktif vertikal .....	11
<b>Gambar 2.5</b> Diagram vektor antara medan primer P dan ggl induksinya.....	12
<b>Gambar 2.6</b> Polarisasi ellips akibat kehadiran benda konduktif pada bidang medan elektromagnetik.....	13
<b>Gambar 2.7</b> Kontur fraser VLF-EM a) data lapangan ( <i>inphase</i> ), b) data lapangan yang difilter fraser .....	19
<b>Gambar 2.8</b> Hasil pengolahan data dengan menggunakan filter Karous- Hjelt: (a) <i>inphase</i> dan (b) <i>quadrature</i> .....	20
<b>Gambar 2.9</b> Perbandingan <i>forward modelling</i> dan inversi.....	21
<b>Gambar 2.10</b> <i>Grid</i> untuk menganalisis $E_x$ dengan menggunakan metode FEM .....	24
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alir rancangan penelitian.....	27
<b>Gambar 3.2</b> Alat-alat penelitian.....	28
<b>Gambar 3.3</b> Peta Desa Melirang Kecamatan Bungah Kabupaten Gresik.....	29
<b>Gambar 3.4</b> Peta lintasan pengukuran VLF-EM.....	29
<b>Gambar 4.1</b> Model sintetik dengan satu benda konduktif.....	32
<b>Gambar 4.2</b> Sinyal data sintetik ditambahkan <i>noise</i> dengan SNR sebesar 17dB .....	32
<b>Gambar 4.3</b> Model Hasil dekomposisi sinyal data sintetik yang ditambahkan noise dengan menggunakan NA-MEMD (a) <i>Inphase</i> (b) <i>Quadrature</i> . $C_1$ sampai $C_4$ merupakan imf, sedangkan $C_5$ adalah <i>residue</i> .....	33



<b>Gambar 4.4</b> Model Hasil <i>filtering</i> menggunakan NA-MEMD terhadap data yang ditambahkan noise .....	34
<b>Gambar 4.5</b> Gambar hasil <i>filter</i> Karous Hjelt (a) <i>Inphase</i> dan (b) <i>Quadrature</i> dari hasil <i>filter</i> NA-MEMD pada lintasan 1 .....	35
<b>Gambar 4.6</b> Gambar hasil <i>filter</i> Karous Hjelt (a) <i>Inphase</i> dan (b) <i>Quadrature</i> dari hasil <i>filter</i> NA-MEMD pada lintasan 2 .....	36
<b>Gambar 4.7</b> Gambar hasil <i>filter</i> Karous Hjelt (a) <i>Inphase</i> dan (b) <i>Quadrature</i> dari hasil <i>filter</i> NA-MEMD pada lintasan 3 .....	37
<b>Gambar 4.8</b> Gambar hasil <i>filter</i> Karous Hjelt (a) <i>Inphase</i> dan (b) <i>Quadrature</i> dari hasil <i>filter</i> NA-MEMD pada lintasan 4 .....	37
<b>Gambar 4.9</b> Gambar hasil <i>filter</i> Karous Hjelt (a) <i>Inphase</i> dan (b) <i>Quadrature</i> dari hasil <i>filter</i> NA-MEMD pada lintasan 5 .....	38
<b>Gambar 4.10</b> Gambar hasil <i>filter</i> Karous Hjelt (a) <i>Inphase</i> dan (b) <i>Quadrature</i> dari hasil <i>filter</i> NA-MEMD pada lintasan 6 .....	38
<b>Gambar 4.11</b> Hasil inversi data lapangan (a) lintasan 1, (b) lintasan 2, (c) lintasan 3, (d) lintasan 4, (e) lintasan 5, dan (f) lintasan 6 .....	40
<b>Gambar 4.12</b> Penampang 2D metode geolistrik (a) lintasan 2 dan (b) lintasan 3 .....	42
<b>Gambar 4.13</b> Gabungan jalur sebaran batuan dolomit lintasan 1 dan 2 sebarannya mengarah selatan, sedangkan lintasan 3 sampai 6 sebarannya mengarah ke tenggara, dan barat daya .....	43



## BIOGRAFI PENULIS



Eko Hadi Purwanto, lahir di Jember pada tanggal 10 Januari 1986, merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan Hadi Suprpto dan S. Purwati. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN 05 Desa Gunungsari, SMPN 1 Desa Gunungsari, SMAN 1 Kencong Kabupaten Jember, S1 Pendidikan Guru Sekolah Dasar (PGSD) Unej angkatan 2004 dan S2 Fisika ITS angkatan 2013 dengan NRP 1113201036.

Di Jurusan Fisika ini, penulis mengambil bidang minat geofisika. Selama menjadi mahasiswa S2 Fisika ITS, penulis mengikuti publikasi artikel ilmiah dalam seminar “Peran Pendidikan dan Penelitian Fisika untuk Mewujudkan Masyarakat yang Bermartabat” di Yogyakarta. Akhir kata apabila ada kritik dan saran, dapat dikirimkan ke: [echo\\_dosenunars@yahoo.co.id](mailto:echo_dosenunars@yahoo.co.id).



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Bahan galian industri tersebar di seluruh pelosok Indonesia, akan tetapi peranan bahan galian industri ini sering tidak disadari oleh masyarakat di sekitarnya. Salah satu bahan galian yang penting dan banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari adalah mineral berbasis karbonat, yang umumnya terdapat dalam bentuk batuan kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomit [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ], maupun magnesit ( $\text{MgCO}_3$ ).

Keberadaan mineral ini, terutama dolomit dan kalsit, masih sangat berlimpah di Indonesia mulai dari propinsi di Aceh hingga ke Papua dengan spesifikasi yang berbeda. Jumlah cadangan total bahan tersebut sekitar 1.600.000 ton (Madiadipoera, 2006). Mineral tersebut hanya memberikan manfaat ekonomi yang minim dan dirasakan kurang dapat meningkatkan taraf hidup masyarakat disekitar daerah penghasil mineral tersebut. Sebagai contoh, dolomit di daerah Gresik digunakan sebagai bata bangunan, bahan tahan api, dan pupuk. Selain itu, dolomit juga dapat diolah menjadi kalsium dan magnesium oksida melalui proses kalsinasi. Kalsium dan magnesium oksida ini dapat digunakan dalam berbagai industri seperti untuk bahan pengisi dalam industri kertas dan plastik, bahan perekat (*adhesive*), bahan farmasi, dan lain sebagainya, yang akan mempunyai nilai jual yang lebih tinggi. Akan tetapi pengolahan batuan dolomit oleh sebagian besar industri rakyat sampai saat ini masih menggunakan cara kalsinasi yang dilakukan berdasarkan kebiasaan dan pengalaman semata, sehingga hasil yang diperoleh belum optimal. Untuk mendapatkan hasil yang optimal perlu dipelajari karakteristik proses kalsinasi tersebut (Sari *et al.*, 2013).

Dari beberapa studi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kandungan mineral yang dominan dalam batuan dolomit adalah  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  (Febriana, 2011), identifikasi mineral yang terdapat di dalam batuan dolomit dan proses pembentukan senyawa oksida melalui teknik kalsinasi, agar diketahui karakteristik proses dekomposisinya (Sari *et al.*, 2013). Sejumlah peneliti telah



memperlihatkan penentuan temperatur dekomposisi dolomit dimana terdapat dua titik endotermis; area pertama pada rentang temperatur antara 690 °C - 810 °C yang berkaitan dengan pembentukan MgO dan CaCO<sub>3</sub>, area kedua pada rentang temperatur antara 810 °C - 920 °C yang berkaitan dengan dekomposisi CaCO<sub>3</sub> menjadi CaO (Kok *et al.*, 2008).

Meningkatnya perkembangan teknologi yang ada, maka sebagai pijakan awal perlu diketahui karakterisasi batuan dolomit [CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] ini secara lebih mendalam. Hal ini sangat diperlukan sebagai informasi awal pengembangan batuan dolomit [CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] ke arah yang lebih luas lagi. Untuk menjawab kebutuhan tersebut, maka penelitian ini ditujukan untuk mengetahui informasi yang lebih mendalam mengenai karakterisasi bawah permukaan di daerah kapur. Metode geofisika yang merupakan metode tidak langsung dapat diaplikasikan dalam pencarian sebaran batuan dolomit di daerah kapur. Salah satu metode dalam eksplorasi geofisika yang umumnya digunakan untuk pencarian bahan-bahan yang memiliki sifat konduktif yang tinggi adalah metode VLF-EM (*Very Low Frequency-Electromagnetic*) (Gufron, 2010).

Metode *Very Low Frequency-Electromagnetic* (VLF-EM) merupakan salah satu metode geofisika yang cepat dan ramah lingkungan. Metode ini termasuk dalam kategori metode pasif, dimana sumber gangguan gelombang elektromagnetik tidak dibangkitkan sendiri melainkan berasal dari sumber yang sangat jauh. Metode ini menggunakan gelombang radio dengan frekuensi yang sangat rendah (15-30 kHz), yang biasanya dipergunakan dalam sistem navigasi kapal selam. Rentang frekuensi metode VLF-EM ini, memungkinkan daya penetrasi kedalaman yang cukup dalam. Untuk kedalaman jangkauan dari penetrasi radiasi gelombang ini dinyatakan dengan faktor *skin depth* (yang ditentukan oleh kondisi lingkungan di sekitar lokasi pengukuran). Kedalaman penetrasi semakin rendah pada lingkungan yang semakin konduktif. Metode ini sangat efektif untuk memisahkan anomali massa yang memiliki perbedaan konduktivitas yang signifikan terhadap lingkungan sekitarnya atau pada kondisi *overburden mass* (lapisan penutup) yang relatif dangkal (Nissen, J., 1986).

Dalam metode ini, dimanfaatkan medan elektromagnetik yang dibangkitkan oleh pemancar radio berfrekuensi sangat rendah dengan daya besar.



Medan yang diukur oleh alat VLF adalah total perbandingan antara medan elektromagnetik primer dan sekunder yang terdiri dari komponen real (*inphase*) dan imajiner (*quadrature*), serta *total field* dan *tilt angle*. Besar nilai yang terukur tergantung dari benda konduktif bawah permukaannya.

Analisis kualitatif dilakukan dengan menggunakan filter *Noise Assisted-Multivariate Empirical Mode Decomposition* (NA-MEMD). Filter ini dapat mereduksi *noise* dan tidak merusak sinyal asli (Huang *et al.*, 2013). Setelah data yang difilter mendapatkan *noise* yang kecil, maka data tersebut diinterpretasi menggunakan filter Fraser digunakan untuk melemahkan panjang gelombang yang terlalu besar dan mengurangi efek topografi. Filter Karous-Hjelt digunakan untuk menginterpretasikan konduktivitas tanah dari sudut pandang kedalamannya. Penerapan hasil filter ini berupa distribusi kerapatan arus yang dapat memberi informasi daerah konduktif dengan sudut pandang dari bawah.

Santos *et al.*, (2006) memperkenalkan analisis kuantitatif data VLF dengan menggunakan inversi data tipper (*inphase* dan *quadrature*). Hasilnya berupa nilai rapat arus ekuivalen yang dapat mencitrakan struktur bawah permukaan dengan baik. Namun demikian, analisis kuantitatif ini memerlukan informasi analisis kualitatif untuk desain input awal (Bahri *et al.*, 2008). Dengan demikian, analisis kualitatif dan kuantitatif sebaiknya diintegrasikan untuk mengetahui kondisi geologi tertentu. Berdasarkan penelitian tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan karakterisasi bawah permukaan di daerah kapur Desa Melirang Kecamatan Bungah Kabupaten Gresik dengan analisis kualitatif (VLF-EM) dan kuantitatif (inversi).

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan di atas, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mengkarakterisasi bawah permukaan daerah kapur di Desa Melirang Kecamatan Bungah Kabupaten Gresik?
2. Bagaimana menentukan sebaran batuan dolomit di daerah penelitian dengan menggunakan metode VLF-EM?



### 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengkarakterisasi bawah permukaan daerah kapur di Desa Melirang, Kecamatan Bungah, Kabupaten Gresik.
2. Menentukan sebaran batuan dolomit di daerah penelitian dengan menggunakan metode VLF-EM.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Pengukuran data di Desa Melirang Kecamatan Bungah Kabupaten Gresik
2. Akusisi data menggunakan metode VLF-EM dan pengukuran data dilakukan pada tanggal 21-26 Desember 2013. Jumlah lintasan pengukuran sebanyak 6 lintasan dengan panjang masing-masing 550 meter, jarak spasi pengukuran 5 meter, dan jarak antar pengukuran 100, 200, 300 meter.
3. Pengolahan dan analisis data menggunakan filter NA-MEMD, Fraser, dan Karous-Hjelt dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB 2010a.
4. Inversi data dilakukan dengan menggunakan *software* Inv2DVLF.
5. Validasi data VLF-EM menggunakan data geolistrik resistivitas 2D pada lintasan 14 dan lintasan 8 (untuk data VLF-EM; lintasan 1 dan lintasan 6)

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian adalah:

1. Memperoleh pengetahuan yang memadai tentang karakter bawah permukaan daerah kapur di Desa Melirang, Kecamatan Bungah, Kabupaten Gresik.
2. Memberikan informasi tentang persebaran batuan dolomit di daerah penelitian dengan menggunakan metode VLF-EM.



## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Dolomit

Pada dasarnya dolomit  $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$  terjadi karena proses pelindian (*leaching*) atau peresapan unsur Magnesium dari air laut kedalam batu gamping, atau yang lebih dikenal dengan proses dolomitisasi yaitu proses perubahan mineral kalsit menjadi dolomit. Selain itu dolomit dapat juga terbentuk karena diendapkan secara tersendiri sebagai endapan evaporit (Holly *et al.*, 2013).

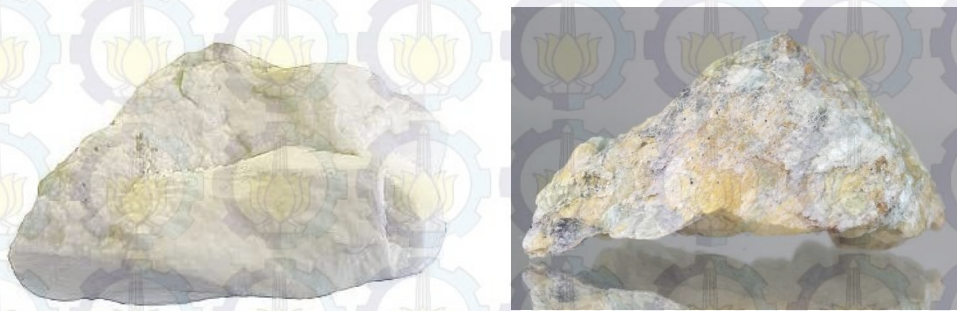
Dolomit dan batu kapur adalah batuan yang sangat mirip. Keduanya memiliki rentang warna yang sama, yaitu putih keabu-abuan dan coklat terang. Keduanya memiliki kekerasan yang hampir sama dan dapat larut dalam asam klorida encer. Keduanya dihancurkan dan dipotong untuk digunakan sebagai bahan bangunan dan digunakan untuk menetralkan asam. Dolomit berasal dari lingkungan sedimen yang sama seperti kapur, yaitu dari lingkungan lauthangat dan dangkal di mana lumpur kalsium karbonat terakumulasi dalam bentuk kulit kerang yang hancur, feses, pecahan karang dan endapan karbonat. Dolomit diperkirakan terbentuk ketika kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) dalam lumpur karbonat atau batu kapur dimodifikasi oleh air tanah yang kaya magnesium. Ketersediaan magnesium memfasilitasi konversi kalsit menjadi dolomit  $[\text{CaMg}(\text{CO}_2)_3]$ . Perubahan kimia ini dikenal sebagai “pendolomitan”. Pendolomitan benar-benar dapat mengubah batu kapur menjadi dolomit atau mengubah sebagian batu untuk membentuk kapur dolomit (<http://www.tekmira.esdm.go.id/data/Dolomit>, 2005).

Dolomit termasuk rumpun mineral karbonat, mineral dolomit murni secara teoritis mengandung 45,6%  $\text{MgCO}_3$  atau 21,9%  $\text{MgO}$  dan 54,3%  $\text{CaCO}_3$  atau 30,4%  $\text{CaO}$ . Rumus kimia mineral dolomit dapat ditulis meliputi  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  atau  $\text{Ca}_x\text{Mg}_{1-x}\text{CO}_3$ , dengan nilai  $x$  lebih kecil dari satu. Dolomit di alam jarang yang murni, karena umumnya mineral ini selalu terdapat bersama-sama dengan batu gamping, kwarsa, rijang, pirit dan lempung. Dalam mineral dolomit terdapat pengotor, terutama ion besi. Adapun deskripsi dolomit yaitu:



Nama Mineral : Dolomit  
Rumus kimia :  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$   
Sistim Kristal : hexagonal  
Belahan : sempurna  
Warna : bening atau putih sempurna krem  
Goresan : putih  
Kekerasan : 3,5-4 skala mohs  
Kepadatan : 2.8-2.9 ton/m<sup>3</sup>

Karakteristik yang lain: Tidak sama dengan kalsit, berbuih dengan lemah dengan cuka yang hangat atau ketika lebih dulu bertepung/berbubuk dengan HCl yang dingin.



Gambar 2.1. Dolomit (<http://www.raonline.ch>, 2012)

Dolomit berwarna putih keabu-abuan atau kebiru-biruan dengan kekerasan lebih lunak dari batu gamping, yaitu berkisar antara 3,50 - 4,00 skala mohs, bersifat pejal, berat jenis antara 2,80 - 2,90 ton/m<sup>3</sup>, berbutir halus hingga kasar dan mempunyai sifat mudah menyerap air serta mudah dihancurkan. Klasifikasi dolomit dalam perdagangan mineral industri didasarkan atas kandungan unsur magnesium, Mg (kimia), mineral dolomit (mineralogi) dan unsur kalsium (Ca) dan magnesium (Mg). Kandungan unsur magnesium ini menentukan nama dolomit tersebut. Misalnya, batu gamping mengandung  $\pm 10\%$   $\text{MgCO}_3$  disebut batu gamping dolomitian, sedangkan bila mengandung 19%  $\text{MgCO}_3$  disebut dolomit (<http://www.tekmira.esdm.go.id/data/Dolomit>, 2005). Dolomit merupakan



batuan sedimen yang memiliki nilai resistivitas sebesar  $10^2$ - $10^4$  ohm meter (Gufron, 2010).

Dolomit digunakan sebagai sumber magnesium ( $MgO$ ). Industri baja menggunakan dolomit sebagai agen sintering dalam pengolahan bijih besi dan sebagai fluks dalam produksi baja. Di bidang pertanian, dolomit digunakan sebagai pupuk untuk meningkatkan pH tanah. Dolomit digunakan dalam produksi kaca dan keramik. Dolomit telah digunakan sebagai sumber kecil magnesium, akan tetapi saat ini kebanyakan magnesium diproduksi dari sumber lain.

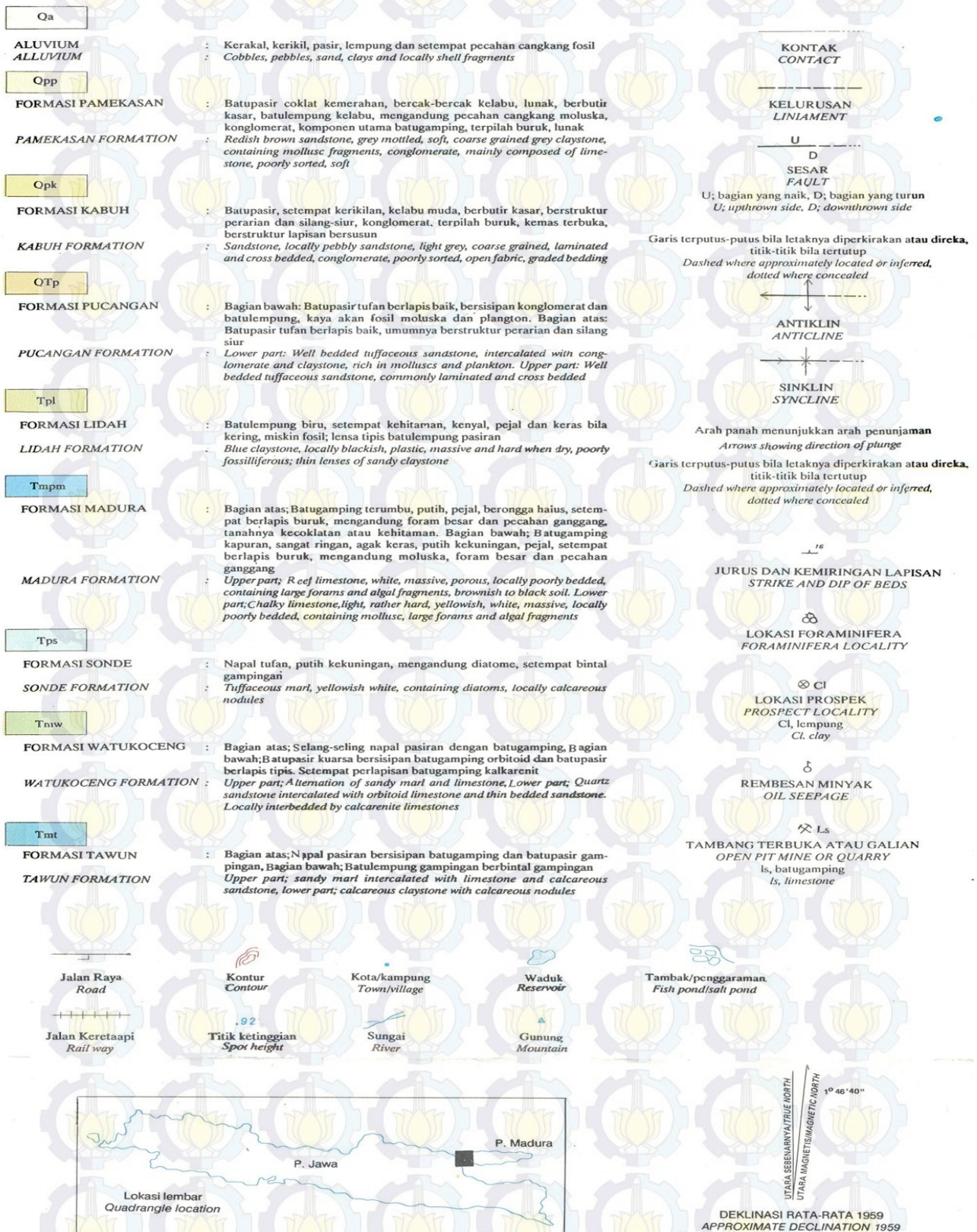
Dolomit ditemukan dalam cekungan sedimen di seluruh dunia. Hal ini diperkirakan terbentuk oleh perubahan *post depositional* lumpur kapur dan batu kapur dengan air tanah yang kaya magnesium. Keberadaan dolomit di Indonesia cukup melimpah terutama di daerah Jawa Timur, salah satunya di Desa Melirang, Kecamatan bungah, Kabupaten Gresik. Penduduk di daerah ini, memanfaatkan batuan dolomit sebagai bahan bangunan pengganti batu bata. Salah satu kecamatan yang ada di Kabupaten Gresik bagian utara adalah Bungah (meliputi wilayah Panceng, Ujung Pangkah, Sidayu, Bungah, Dukun, Manyar), merupakan bagian dari daerah pegunungan Kapur Utara yang memiliki tanah relatif kurang subur. Sebagian dari daerah ini adalah hilir aliran Bengawan Solo yang bermuara dari pantai utara Kabupaten Gresik. Daerah hilir Bengawan Solo tersebut sangat potensial karena mampu menciptakan lahan yang cocok untuk pemukiman maupun usaha pertambakan (BPS, 2012).







## KETERANGAN EXPLANATION



Gambar 2.3 Keterangan Peta Geologi Kabupaten Gresik



## 2.2 Metode Very Low Frequency-Electromagnetic (VLF-EM)

Metode VLF-EM merupakan metode elektromagnetik yang sinyalnya menggunakan gelombang radio dengan frekuensi 15-30 kHz. Metode ini termasuk metode elektromagnetik pasif yang telah banyak digunakan dalam eksplorasi geofisika untuk berbagai keperluan seperti survei tanah, investigasi sesar dangkal, pemetaan geologi, dan studi bentuk lahan (Al-Tarazi *et.al.*,2008; Bernard dan Valla, 1991; Fischer *et.al.*,1983; Jeng *et.al.*,2004).

Medan elektromagnetik VLF dihasilkan oleh pemancar gelombang radio dengan panjang gelombang 10-20 km. Dua pemancar terdekat dengan Indonesia berada di Yosamai, Jepang dan Northwest Cape, Australia. Antena pemancar terdiri dari beberapa menara tinggi yang berkisar antara 200-300 meter. Namun, tinggi menara tersebut jauh lebih kecil dibandingkan dengan panjang gelombang yang terpancar yaitu 10.000-20.000 meter. Akibatnya pada jarak yang cukup jauh sistem antena tersebut dapat dipandang sebagai dipole listrik vertikal dengan arus listrik yang mengalir dari dan ke kutub-kutubnya.

Pemancar VLF akan memancarkan sinyal VLF dengan daya radiasi tertentu. Besarnya daya radiasi yang dipancarkan oleh pemancar VLF memiliki satuan Watt dan dinyatakan dengan persamaan berikut ini:

$$P \cong 7 \times 10^{-13} V^2 C^2 h_e^2 f^4, \quad (2.1)$$

dimana V adalah tegangan yang melalui antena, C adalah kapasitansi antena termasuk di puncaknya,  $h_e$  adalah ketinggian efektif antena (dapat didekati dengan ketinggian sebenarnya h) dan f adalah frekuensi yang dioperasikan. Sehingga harga komponen medan magnet pada jarak tertentu dari pemancar dengan asumsi tanah adalah penghantar sempurna dan datar:

$$E_z = 9,5 \frac{\sqrt{P}}{r} \quad (2.2)$$

$$H_\phi = \frac{E_z}{\eta_0}, \quad (2.3)$$

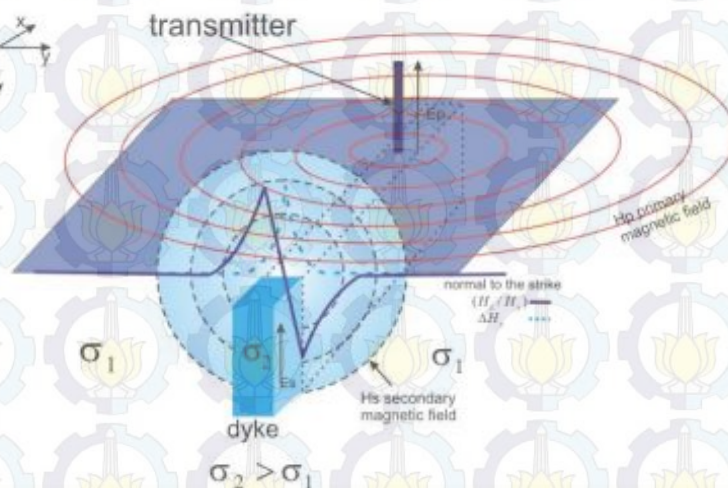
dimana P adalah radiasi dari pemancar (dalam watt),  $E_z$  harga puncak medan listrik (dalam volt per meter),  $H_\phi$  adalah harga puncak medan magnetik (dalam ampere per detik), r adalah jarak dari pemancar (dalam meter) dan  $\eta_0$  adalah impedansi intrinsik ruang hampa ( $120\pi$  ohm).



Pada penerimaan sinyal VLF ada sumber gangguan utama. Sumber gangguan (*noise*) utama tersebut adalah sumber eksternal yang dihasilkan oleh radiasi medan elektromagnetik ketika terjadi pelepasan petir di atmosfer baik lokal maupun regional, sehingga menyebabkan laju atenuasi pada frekuensi VLF menjadi rendah secara ekstrem.

Medan elektromagnetik primer sebuah pemancar radio, memiliki komponen medan listrik vertikal  $E_{pz}$  dan komponen medan magnetik horizontal  $H_{py}$ , tegak lurus terhadap arah perambatan sumbu x. Pada jarak yang cukup jauh dari antenna pemancar, komponen medan elektromagnetik primer dapat dianggap sebagai gelombang yang berjalan secara horizontal. Jika di bawah permukaan terdapat suatu medium yang konduktif, maka komponen medan magnetik dari gelombang elektromagnetik primer akan menginduksi medium tersebut sehingga akan menimbulkan arus induksi (*Eddy Current*),  $E_{sx}$ .

Arus Eddy (seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.4) akan menimbulkan medan elektromagnetik baru yang disebut medan elektromagnetik sekunder ( $H_s$ ), yang mempunyai komponen horizontal dan vertikal. Medan magnetik ini mempunyai bagian yang sefase (*inphase*) dan berbeda fase (*quadrature*) dengan medan primer. Adapun besar medan elektromagnetik sekunder sangat tergantung dari sifat konduktivitas benda di bawah permukaan.



Gambar 2.4 Distribusi medan elektromagnetik untuk metode VLF-EM dalam polarisasi listrik dengan sinyal teoritis atas tanggul konduktif vertikal (diambil dan di Gambar ulang dari Bosch dan Muler, 2001)



Medan elektromagnetik yang merambat pada konduktivitas batuan  $\sigma$ , permitivitas  $\epsilon$  dan permeabilitas  $\mu$  berlaku persamaan Maxwell yang ditulis dalam domain frekuensi:

$$\nabla \times \mathbf{H} = (\sigma + i\omega\epsilon) \mathbf{E} \text{ (Hukum Ampere)} \quad (2.4a)$$

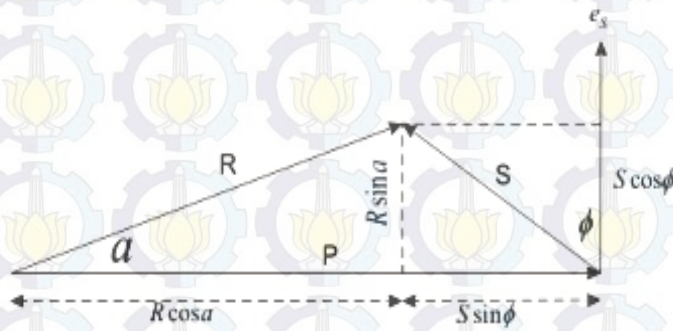
$$\nabla \times \mathbf{E} = -(i\omega\mu_0) \mathbf{H} \text{ (Hukum Faraday)} \quad (2.4b)$$

$$\nabla \cdot (\epsilon \mathbf{E}) = \rho \text{ (Hukum Gauss)} \quad (2.4c)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0, \quad (2.4d)$$

dimana  $\mathbf{E}$  dan  $\mathbf{H}$  masing-masing merupakan vektor medan listrik dan medan magnet fungsi waktu  $t$  dengan frekuensi sudut  $\omega$  dan  $\rho$  merupakan rapat muatan (Kalscheuer et.al., 2008). Pada persamaan (2.4a) bagian ruas kanan terdapat kuantitas  $\mathbf{J}_{cond} = \sigma \mathbf{E}$ ,  $\mathbf{J}_{disp} = i\omega\epsilon \mathbf{E}$  dan  $\mathbf{J} = (\sigma + i\omega\epsilon) \mathbf{E}$  masing-masing merupakan rapat arus konduksi, *displacement* dan total. Rapat arus *displacement* menggambarkan efek dielektrik elektronik, atomik, molekuler dan perubahan ruang polarisasi bahan dengan permitivitas dielektrik  $\epsilon$  akibat medan listrik sebagai fungsi waktu.

Karakteristik gelombang elektromagnetik dalam metode VLF dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada saat gelombang primer masuk kedalam medium, gaya gerak listrik (ggl) induksi  $e_s$ , akan muncul dengan frekuensi yang sama, tetapi fasenya tertinggal  $90^\circ$  (Kaikonen, 1979). Gambar 2.5 menunjukkan diagram vektor antara medan primer  $P$  dan ggl induksinya. Kombinasi antara medan  $P$  dan medan  $S$  ( $R \cos \alpha$ ) disebut komponen real (*inphase*) dan komponen yang tegak lurus  $P$  ( $R \sin \alpha$ ) disebut komponen imajiner (*out of phase*, komponen kuadratur)



Gambar 2.5 Diagram vektor antara medan primer  $P$  dan gaya gerak listrik (ggl) induksinya (Kaikonen, 1979).

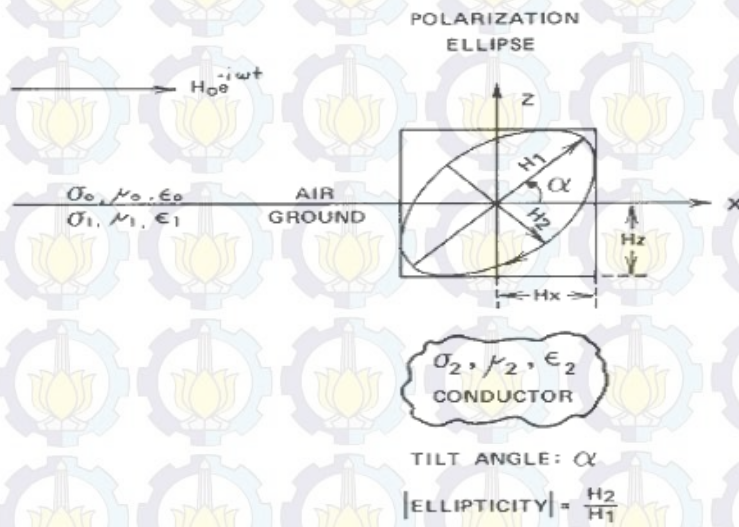
Jika medan magnet horizontal adalah  $H_x$  dan medan magnet vertikalnya adalah  $H_z$ , maka besarnya sudut tilt dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 2.6, yang besarnya adalah

$$\tan(2\theta) = \frac{2\left(\frac{H_z}{H_x}\right)\cos\phi}{1 - \left(\frac{H_z}{H_x}\right)^2} \times 100\% \quad (2.5)$$

dan eliptisitasnya diberikan sebagai

$$\varepsilon = \frac{b}{a} = \frac{H_z H_x \sin\phi}{1 - [H_z e^{i\phi} \sin\theta + H_x \cos\theta]^2} \times 100\%, \quad (2.6)$$

dimana *Ellips* yang dibentuk oleh  $H_x$  dan  $H_z$  mempunyai dua parameter fisis. Pertama, *tilt angle* ( $\alpha$ ) merupakan kemiringan sumbu utama terhadap bentuk polarisasi *ellips*. Kedua, eliptisitas ( $\varepsilon$ ) merupakan sumbu mayor ( $H_1$ ) dan minor ( $H_2$ ) *ellips*.



Gambar 2.6 Polarisasi ellips akibat kehadiran benda konduktif pada bidang medan elektromagnetik (Peterson dan Ronka, 1971).

Berbentuk *ellips* jika  $H_x$  dan  $H_z$  besarnya tidak sama dan berbentuk lingkaran jika  $H_x$  dan  $H_z$  besarnya sama. Bagian *real* data tipper disebut dengan *Inphase* dan bagian imajiner disebut dengan *Quadrature*. Menurut Simpson dan Bahr (2005), data tipper ini cocok untuk memetakan perbedaan konduktivitas secara lateral, namun kurang bagus untuk perbedaan konduktivitas secara vertikal.



Untuk memodelkan besaran  $E_x$  pada setiap kedalaman dan posisi lateral, sulit dilakukan secara analitik. Oleh karena itu, Kalscheuer *et.al.*, (2008) menganalisis persamaan tersebut dengan menggunakan beda hingga (*finite difference*), sedangkan Monteiro Santos *et.al.*, (2006) dan Srigutomo *et.al.*, (2005) menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*). Kedua analisis tersebut merupakan penyederhanaan penjalaran gelombang  $E_x$  saja. Walaupun demikian, kedua pendekatan ini cukup valid untuk mengestimasi penjalaran gelombang elektromagnetik (Siripunvaraporn *et.al.*, 2002). Setelah  $E_x$  diketahui, selanjutnya dilakukan estimasi  $H_y$  dan  $H_z$  yang merupakan hasil differensial dari  $E_x$ . Setelah ketiga parameter tersebut didapatkan, maka dilakukan estimasi nilai resistivitas semu dan fase. Persamaan resistivitas semu dan fase adalah sebagai berikut.

$$\rho_a^{xy} = \frac{1}{\omega\mu} |Z_{xy}|^2 \quad \text{dan} \quad \phi^{xy} = \arg(Z_{xy}) \quad (2.7)$$

dengan  $Z_{xy} = \frac{E_x}{H_y}$

Parameter-parameter VLF-EM yang penting sebagai berikut.

a. Pemancar

Pemancar ini mulai dibangun sejak Perang Dunia I, digunakan untuk komunikasi jarak jauh karena kemampuannya untuk komunikasi gelombang dengan pelemahan yang sangat kecil pada gelombang bumi ionosfer. Penetrasinya cukup efektif hingga dapat menembus laut dalam.

b. Pengaruh Atmosfer

Sumber gangguan utama pada proses pengukuran VLF-EM adalah adanya radiasi medan elektromagnetik akibat kilat baik ditempat yang dekat maupun di tempat yang jauh dari daerah pengukuran. Pada frekuensi VLF-EM, radiasi medan ini dapat melemahkan sinyal yang dipancarkan oleh pemancar. Gangguan ini dicirikan dengan naiknya kuat medan listrik vertikal dan medan horizontal secara tiba tiba.



Gangguan kedua adalah variasi harian medan elektromagnetik bumi, dimana terjadi pergerakan badai dari arah timur ke barat yang terjadi pada siang hingga sore hari menjelang malam. Untuk daerah sekitar Australia, gangguan minimum terjadi pada bulan Mei-Juli, dan gangguan maksimum terjadi pada jam 08.00 waktu lokal, kemudian merambat naik hingga maksimum pada jam 16.00 waktu lokal (McNeill dan Labson, 1991).

c. Rambatan Gelombang Elektromagnetik

Pada elektromagnetik VLF dengan frekuensi  $<100$  kHz, arus pergeseran akan lebih kecil dari arus konduksi karena permitivitas dielektrik batuan rata-rata cukup kecil dan konduktivitas target biasanya  $> 10^{-2}$  S/m. Hal ini menunjukkan efek medan akibat arus konduksi memegang peranan penting ketika terjadi perubahan konduktivitas batuan.

d. Pelemahan (Atenuasi) Medan

Pelemahan medan ini mempengaruhi kedalaman. Kedalaman pada saat amplitudo menjadi  $1/e$  (kira-kira 37%) dikenal sebagai *skin depth* atau kedalaman kulit. Kedalaman ini dalam metode elektromagnetik disebut sebagai kedalaman penetrasi gelombang, yaitu kedalaman  $= 504\rho$  dimana  $\rho$  adalah resistivitas dalam  $\Omega\text{m}$  dan  $f$  adalah frekuensi.

### 2.3 Multivariate Empirical Mode Decomposition (MEMD)

MEMD merupakan perluasan *multivariate* (multivariabel) dari *Empirical Mode Decomposition* (EMD) standar (Huang *et.al.*, 1998). EMD pertama kali diusulkan oleh Huang *et.al.*, (1971). Ini adalah metode adaptif untuk menganalisis data nonlinier dan nonstasioner, menguraikan data ke dalam satu set mode osilasi yang diberi nama *intrinsic mode function* (IMF). Lebih khususnya, untuk sebuah sinyal  $x(t)$ , EMD menemukan  $K$  IMF  $c_1(t), c_2(t), \dots, c_K(t)$  dan sebuah sinyal residu  $r(t)$ , sehingga :

$$x(t) = \sum_{i=1}^K c_i(t) + r(t) \quad (2.8)$$

Setelah penemuan tersebut, banyak varian EMD telah diusulkan dan perluasan *multivariate* merupakan arah penelitian yang penting. MEMD baru-baru



ini telah diusulkan oleh Rehman dan Mandic (2010) untuk memproses sinyal *multivariate* yang memiliki jumlah *channel* yang sembarang.

Langkah penting untuk MEMD adalah perhitungan rata-rata lokal. Selain itu, gagasan "model osilasi" mendefinisikan IMF agak membingungkan untuk data spasial *multivariate*. Untuk mengatasi masalah ini, Rehman dan Mandic (2010) membuat beberapa *envelope* dimensi- $n$  dengan mengambil proyeksi dari beberapa *input* di sepanjang arah yang berbeda di ruang dimensi- $n$ . IMF dihitung dengan menggunakan *envelope*.

Dengan menganggap  $V(s) = \{v_1(s), v_2(s), \dots, v_n(s)\}$  adalah sekumpulan  $n$  data spasial sebagai fungsi ruang ( $s$ ) dan  $X^{\theta_k} = \{x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k\}$  menunjukkan arah vektor sepanjang arah yang diberikan oleh sudut dalam satu set arah,  $X(k = 1, 2, \dots, K, K$  adalah jumlah arah). Kemudian, dari IMF kemudian set data spasial dapat diperoleh dengan menggunakan algoritma 1 (Rehman dan Mandic, 2010b) :

Algoritma 1: MEMD

- 1) Bangkitkan sekumpulan vektor arah yang sesuai,  $X$ .
- 2) Hitunglah sebuah proyeksi,  $p^{\theta_k}(s)$ , dari sekumpulan data spasial  $V(s)$  sepanjang vektor arah  $X^{\theta_k}$ , untuk semua nilai  $k$ .
- 3) Temukan sesaat spasial  $s_i^{\theta_k}$  yang sesuai dengan *maxima* proyeksi untuk semua nilai  $k$ .
- 4) Interpolasikan  $[s_i^{\theta_k}, V(s_i^{\theta_k})]$  untuk memperoleh kurva *multivariate envelope*  $e^{\theta_k}(s)$  untuk semua nilai  $k$ .
- 5) Rerata  $M(s)$  dari kurva *envelope* dihitung dengan  $M(s) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K e^{\theta_k}(s)$
- 6) Ekstrak "detail"  $D(s)$  menggunakan  $D(s) = V(s) - M(s)$ . Jika "detail"  $D(s)$  memenuhi kriteria penghentian untuk IMF *multivariate*, terapkan prosedur di atas untuk  $V(s) - D(s)$ , jika tidak, menerapkannya ke  $D(s)$ .

Kriteria penghentian untuk IMF *multivariate* mirip dengan yang diusulkan oleh Huang *et al.*, (2003), perbedaannya adalah bahwa kondisi



kesetaraan jumlah ekstrim dan *zero crossing* tidak dikenakan, karena ekstrim tidak dapat secara tepat didefinisikan untuk sinyal *multivariate*.

Transformasi Hilbert (Huang *et.al.*, 1998) dilakukan untuk setiap IMF untuk mendapatkan frekuensi sesaat, yaitu turunan dari fungsi fase. Frekuensi sesaat SW dan faktor lingkungan diubah menjadi periode ( $1/\text{frequency}$ ) dan periode selanjutnya dikonversi ke skala spasial setelah dikalikan dengan interval *sampling*.

## **2.4 Filter Noise Assisted-Multivariate Empirical Mode Decomposition (NA-MEMD)**

Algoritma NA-MEMD mencoba untuk mengeliminasi interferensi *noise* yang terjadi pada *Ensemble Empirical Mode Decomposition* (EEMD) dan mereduksi *mode-mixing* pada keluaran *Empirical Mode Decomposition* (EMD) dan *Multivariate Empirical Mode Decomposition* (MEMD). Ini diuraikan dalam Algoritma2, dimana langkah pertama memastikan bahwa saluran *noise* tidak ditambahkan kesinyal yang sudah memenuhi kriteria IMF. Metode ini beroperasi dengan membentuk sinyal *multivariate* yang terdiri dari *input* data dan *noise* pada *channel* yang terpisah (Rehman dan Mandic, 2011).

Algoritma 2: NA-MEMD

- 1) Periksa apakah sinyal *input* memenuhi kriteria IMF. Jika tidak, lanjutkan ke langkah selanjutnya. Sebaliknya, hentikan proses.
- 2) Buat *Gaussian white noise time series* tak berkorelasi (*1-channel*) yang panjangnya sama dengan panjang *input*, dengan  $l \geq 1$ .
- 3) Tambahkan saluran *noise* (*1-channel*) yang dibuat di langkah 2 ke sinyal masukan *multivariate* (*n-channel*)  $n \geq 1$ , sehingga diperoleh  $(n + 1)$ -*channel* sinyal *multivariate*.
- 4) Proses sinyal *multivariate*  $(n + 1)$ -*channel* yang dihasilkan  $n + 1 \geq 2$  menggunakan algoritma MEMD untuk mendapatkan IMF *multivariate*.
- 5) Dari  $(n + 1)$  IMF *multivariate* yang dihasilkan, buang *1-channel* yang bersesuaian dengan *noise*, sehingga memberikan satu set *n-channel* IMF yang sesuai dengan sinyal asli.



## 2.5 Filter Fraser

Filter Fraser adalah perangkat lunak yang berfungsi melemahkan panjang gelombang yang terlalu besar untuk mengurangi efek topografi. Filter Fraser diaplikasikan pada data *tilt-angle* yang merupakan hasil polarisasi elipstik medan magnetik bawah permukaan. Filter ini dihitung dengan menggunakan prinsip gradien horizontal dan penghalusan data untuk memberikan nilai maksimum pada benda yang lebih konduktif. Selain itu, filter ini mengurangi efek pelemahan dari variasi temporal kuat sinyal pemancar (Fraser, 1969).

Jika  $f(i) = f_i$  menyatakan data yang terkumpul, maka rata-rata data ke-1 dan ke-2 diberikan oleh:

$$\bar{f}_{12} = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad (2.9)$$

Pertimbangkan nilai persamaan (2.9) yang akan diplot antara titik 1 dan 2 dan dengan melakukan hal yang sama dengan data ke-3 dan ke-4.

$$\bar{f}_{34} = \frac{f_3 + f_4}{2} \quad (2.10)$$

Jika  $\Delta x$  menyatakan jarak antara masing-masing stasiun sepanjang lintasan, maka

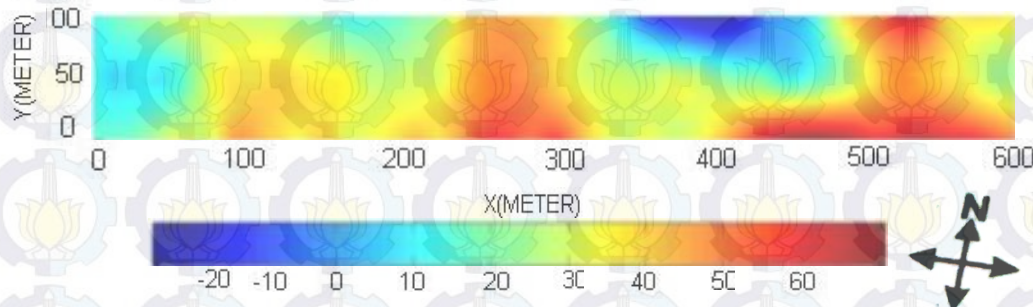
$$\frac{\bar{f}_{12} - \bar{f}_{34}}{2\Delta x} = \frac{(f_1 + f_2) - (f_3 + f_4)}{4\Delta x} \quad (2.11)$$

Karena  $4\Delta x$  konstan, sehingga dapat diabaikan. Dengan demikian, filter Fraser menjadi  $(f_1 + f_2) - (f_3 + f_4)$  atau secara umum dapat ditulis:

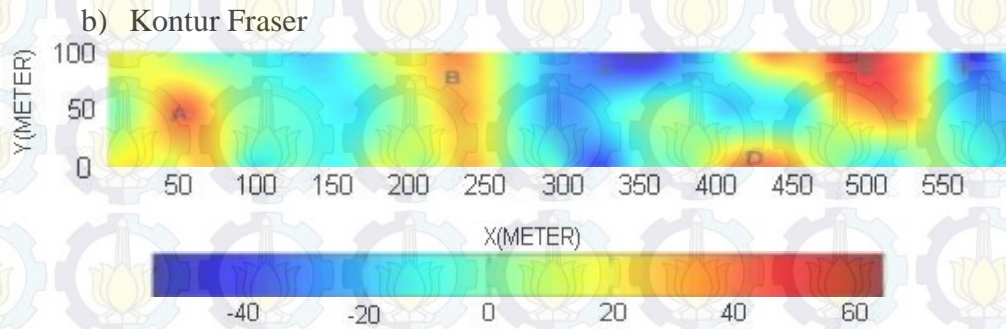
$$F_n = (f_{n+2} + f_{n+3}) - (f_n + f_{n+1}) \quad (2.12)$$

Contoh penerapan filter Fraser dapat dilihat pada gambar 2.7.

a) Kontur Inphase







Gambar 2.7 Kontur Fraser VLF-EM a) data lapangan (*inphase*), b) data lapangan yang difilter Fraser. Anomali hasil filter Fraser lebih jelas dan fokus yang ditandai huruf A, B, D, dan E (Bahri *et.al.*, 2008)

## 2.6 Filter Karous-Hjelt

Filter Karous-Hjelt (Karous dan Hjelt, 1983) merupakan filter yang dikembangkan dari konsep medan magnetik yang berhubungan dengan aliran arus listrik. Filter ini dikembangkan dari filter statistika linear berdasarkan atas filter Fraser (Fraser, 1969) dan teori filter linear dari Bendat dan Piersol (1968). Filter ini menghasilkan profil variasi rapat arus terhadap kedalaman yang diturunkan dari nilai komponen vertikal medan magnetik pada setiap titik pengukuran.

Eksperimen telah dilakukan dengan sejumlah koefisien filter (Karous dan Hjelt, 1977). Hasilnya menunjukkan bahwa filter bekerja dengan baik, bentuk sederhananya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta z}{2\pi} \cdot I_a(\Delta x / 2) = & -0.205 \cdot H_{-2} + 0.323 \cdot H_{-1} - 1.446 \cdot H_0 \\ & + 1.446 \cdot H_1 - 0.323 \cdot H_2 + 0.205 \cdot H_3, \end{aligned} \quad (2.13)$$

dimana,

$$H_i = H_{zm}(i \cdot \Delta x)$$

Dalam interpretasi data lapangan, nilai yang terukur harus diperhalus sebelum difilter. Dengan mengambil rata-rata dari nilai yang berdekatan  $H_i$  dan  $I_a$ , filter yang simetris kita dapatkan:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta z}{2\pi} \cdot \bar{I}_a(0) = & -0.102 \cdot H_{-2} + 0.059 \cdot H_{-1} - 0.561 \cdot H_0 \\ & + 0.561 \cdot H_1 - 0.059 \cdot H_2 + 0.102 \cdot H_3, \end{aligned} \quad (2.14)$$



dimana,

$$\bar{I}(0) = \frac{1}{2} [I(\Delta x/2) + I(-\Delta x/2)]$$

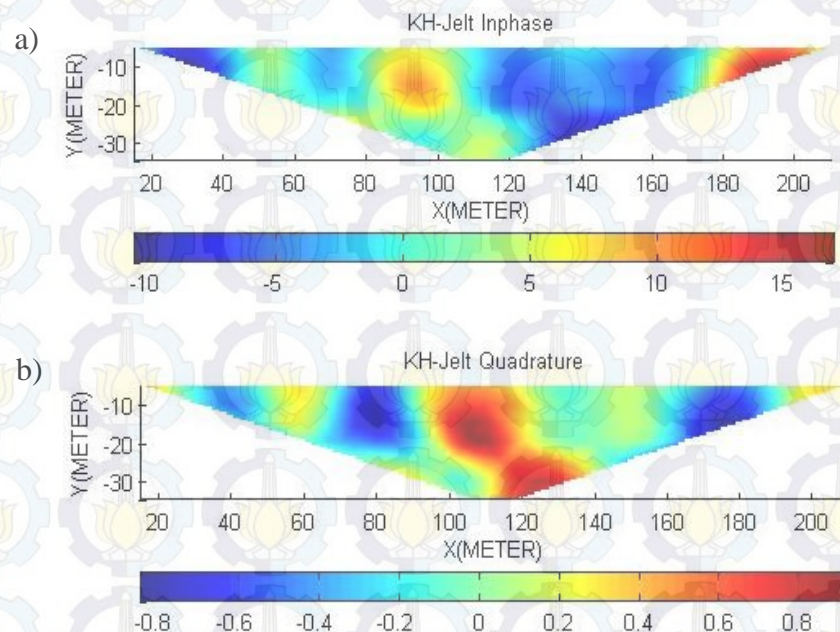
Koefisien filter diterapkan secara terpisah pada komponen *in-phase* (real) dan *quadrature* (imajiner) dari anomali relatif  $H_{zm}/H_0$  untuk memberikan komponen yang sesuai dari rapat arus. Contoh penerapan filter Karous-Hjelt dapat dilihat pada Gambar 2.5.

Tabel 2.1 Koefisien filter  $K_{i0}^{-1}$  untuk beberapa nilai  $n$ . Koefisien untuk  $-i+1$  adalah -1 kali koefisien untuk  $i$

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n$										
0	1.250									
1	1.383	-0.115								
2	1.446	-0.323	0.205							
3	1.434	-0.299	-0.109	0.102						
4	1.434	-0.298	0.116	-0.003	0.116					
9	1.434	-0.299	0.109	0.013	0.027	0.020	0.019	0.022	0.022	0.081

Sumber: Karous dan Hjelt (1983)

Berikut adalah contoh hasil pengolahan data VLF-EM menggunakan filter Karous-Hjelt.

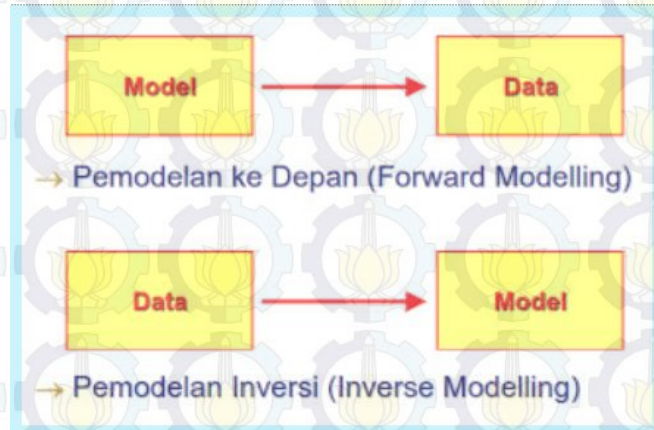


Gambar 2.8 Hasil pengolahan data dengan menggunakan filter Karous-Hjelt: (a) *inphase* dan (b) *quadrature* (Feriadi, 2013)



## 2.7 Forward Modelling dan Inversi

*Forward modelling* merupakan pemodelan yang dilakukan untuk memperoleh data dari model yang ada berdasarkan sifat-sifat fisis yang diketahui. Sedangkan, Inversi merupakan suatu penjabaran matematis untuk memperoleh informasi sistem fisika berdasarkan data observasi terhadap suatu sistem tersebut (Menke, 1984).



Gambar 2.9 Perbandingan *forward modelling* dan inversi (Grandis, 2009)

Untuk dapat memodelkan parameter fisis lapisan bumi terhadap nilai resistivitas semu dan nilai fase TE, terlebih dahulu dilakukan diskritisasi parameter fisis blok lapisan bumi tersebut. Parameter fisis yang berkaitan dengan resistivitas semu dan fase TE adalah nilai resistivitas batuan. Misalkan  $m$  merupakan diskritisasi resistivitas suatu batuan, maka  $m=[m_1, m_2, m_3, \dots, m_n]$  dan  $d$  adalah data observasi  $d = [d_1, d_2, d_3, \dots, d_n]$ , serta parameter model secara teori  $F[m]$ . Hubungan data dengan parameter model secara umum dapat dinyatakan oleh persamaan:

$$d = F[m] \quad (2.15)$$

Persamaan (2.15) digunakan untuk menyatakan hubungan antara data dengan parameter model yang direpresentasikan oleh fungsi nonlinear. Dalam hal ini,  $F[m]$  sebagai fungsi pemodelan ke depan yang merupakan fungsi nonlinear dari parameter model.

Dengan data pengukuran  $d$ , maka cara konvensional untuk dapat memecahkan permasalahan inversi pada persamaan (2.15) didasarkan pada minimalisasi fungsi parametrik Tikhonov yang direpresentasikan oleh persamaan:



$$P(m) = \phi(m) + \lambda^2 s(m) \quad (2.16)$$

$\phi(m)$  merupakan fungsi misfit,  $s(m)$  fungsi penstabil,  $\lambda$  parameter regulasi yang mengontrol *trade-off* antara dua parameter yang berkontribusi terhadap model. Fungsi misfit dan penstabil diberikan oleh:

$$\phi(m) = \|d - A(m)\| \quad (2.17)$$

$$s(m) = \|C(m)\|^2 \quad (2.18)$$

$C$  merupakan matriks pembobot pada parameter model (Zhdanov, 2002). Rodi dan Mackie (2001) menggunakan metode Gauss-Newton untuk inversi data medan elektromagnetik. Dasar metode ini, melinierkan  $F[m]$  dengan menggunakan deret Taylor dengan mengambil dua suku pertama.

$$F[m_{k+1}] = F[m_k + \delta m] = F[m_k] + J_K(m_{k+1} - m_k) \quad (2.19)$$

$k$  merupakan bilangan iterasi dan  $J = \partial F / \partial m$  adalah matriks sensitivitas atau biasa disebut dengan matriks Jacobian. Selanjutnya, persamaan ini dapat diubah menjadi persamaan linear.

$$F[m_{k+1}] - F[m_k] = J_K(m_{k+1} - m_k) \quad (2.20)$$

Persamaan ini mirip dengan persamaan yang berlaku hubungan linear antara data dan parameter model,  $d = F[m]$ . Pada kasus ini, data diganti dengan perturbasi data  $F[m_{k+1}] - F[m_k]$  dan model diganti dengan perturbasi model  $(m_{k+1} - m_k)$ . Selain itu, matriks Kernel pada kasus ini merupakan matriks Jacobian yang mengandung arti seberapa besar data prediksi berubah sebagai akibat dari perubahan atau perturbasi model. Karena itulah, matriks Jacobian disebut dengan matriks Sensitivitas. Berdasarkan analogi, solusi inversi persamaan ini dapat dinyatakan (DeGroot-Hedlin dan Constable, 1990).

$$m_{k+1} = m_k + [J_K^T J_K]^{-1} J_K^T (F[m_{k+1}] - F[m_k]) \quad (2.21)$$

Persamaan ini menyatakan bahwa model iterasi ke- $(k+1)$  merupakan model iterasi sebelum  $k$  yang di *update* dengan menggunakan faktor koreksi.

Menurut Grandis (2009), persamaan ini seringkali terjadi *overshoot* di awal iterasi. Oleh karena itu, Levenberg-Marquardt memodifikasi persamaan tersebut dengan menggunakan *Lagrange Multiplier* ( $\lambda$ ) dan operator penghalus



Laplacian ( $C$ ). Operator Laplacian diestimasi dari differensial kedua dengan menggunakan *finite difference*. Ungkapan operator tersebut adalah sebagai berikut.

$$C = \begin{pmatrix} 1 & -2 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & -2 & 1 & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 1 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & 1 & -2 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.22)$$

$$m_{k+1} = m_k + [J_k^T J_k + \lambda^2 C^T C]^{-1} J_k^T (F[m_{k+1}] - F[m_k]) \quad (2.23)$$

Metode ini merupakan gabungan antara metode Gauss-Newton dengan metode Gradien yang disebut dengan metode Levenberg-Marquardt yang identik dengan inversi non-linear teredam (Grandis, 2009). Secara garis besar, tahapan metode ini sebagai berikut: pada iterasi awal, digunakan faktor redaman  $\lambda^2$  yang cukup besar sehingga elemen diagonalnya menjadi dominan, berlaku metode Gradien. Jika perturbasi model menghasilkan fungsi objektif yang lebih rendah berarti mendekati solusi dan pengaruh  $\lambda^2$  diperkecil, sehingga langkah berikutnya menggunakan metode Gauss-Newton.

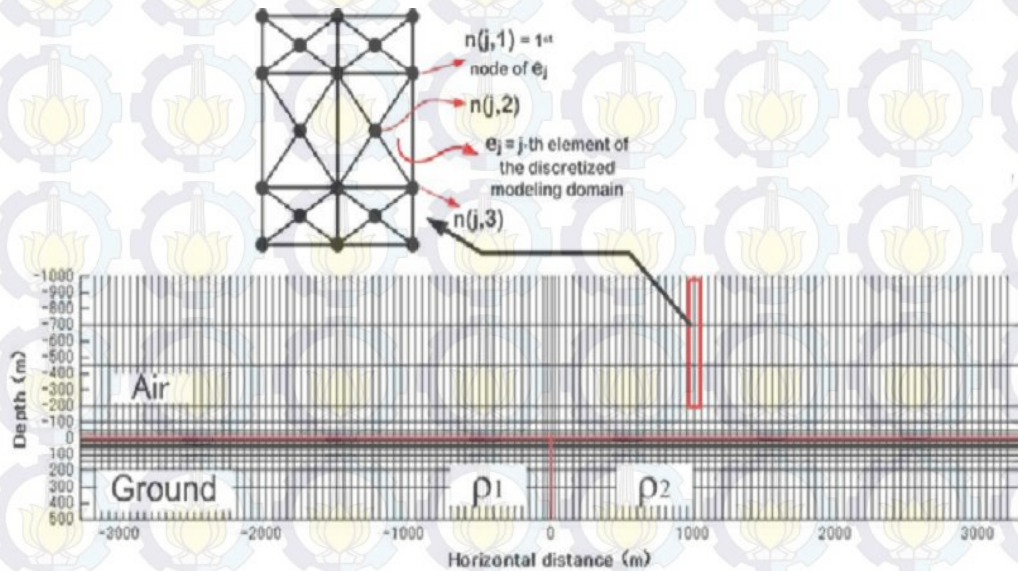
## 2.8 Finite Element Method (FEM)

Pada dasarnya metode ini digunakan untuk menyederhanakan suatu permasalahan secara numerik dengan hasil yang mendekati hasil analitik (Kwon dan Bang, 1996). *Finite element method* Galerkin digunakan untuk menyelesaikan persamaan (2.24). Metode ini dilakukan dengan cara membuat *grid* terlebih dahulu seperti gambar 2.10.

Selanjutnya dilakukan analisis interpolasi untuk mendapatkan  $E_x$  yang belum diketahui. Syarat batas pada permukaan bumi atau bagian atas model yaitu dengan pengaturan nilai medan listrik yang bernilai 1, sedangkan syarat batas bagian samping didasarkan pada syarat  $\partial E_x / \partial y = 0$ . Dan batas bagian bawah didasarkan pada persamaan *skin depth*. Selanjutnya,  $E_x$  dapat diestimasi berdasarkan persamaan:



$$K \{E_x\} = s \quad (2.24)$$



Gambar 2.10 Grid untuk menganalisis  $E_x$  dengan menggunakan metode FEM (Srigutomo et.al.,2005)

$K$  merupakan matriks yang berukuran  $N \times N$  yang mengandung variabel posisi dan resistivitas batuan dan  $s$  adalah syarat batas dengan ukuran  $N \times 1$  dengan  $N$  adalah banyaknya nilai  $E_x$  yang ingin diketahui. Estimasi nilai  $E_x$  sering menimbulkan masalah. Hal ini terjadi karena matriks  $K$  seringkali bersifat *singular*. Untuk itu, estimasi nilai  $E_x$  dapat dilakukan dengan metode *quasi-minimal residual* (QMR), dekomposisi *lower upper* (LU) atau metode *biconjugate-gradient*.

Selanjutnya, untuk estimasi  $H_z$  dan  $H_y$  dilakukan dengan menggunakan metode FEM.  $H_z$  dinyatakan melalui  $a_k$  dan  $E_x$ , sedangkan  $H_y$  dinyatakan melalui  $b_k$  dan  $E_x$ .

$$a_k^T E_x = H_z^k \quad (2.25)$$

$$b_k^T E_x = H_y^k \quad (2.26)$$

Matriks  $a_k^T$  dan  $b_k^T$  berukuran  $N \times N$ . Estimasi  $H_z$  dan  $H_y$  pada persamaan (2.25) dan (2.26) dilakukan dengan perkalian matriks biasa. Selanjutnya estimasi matriks Jacobian yang efisien diusulkan oleh Rodi (1976) dan Rodi dan Mackie (2001).



Impedansi ke- $k$  atau data VLF untuk suatu model  $m$  dinyatakan sebagai komponen horizontal listrik atau magnetik dari TE.

$$Z^k(m) = \frac{a_k(m)^T E_x(m)}{b_k(m)^T E_x(m)} \quad (2.27)$$

$a_k(m)$  dan  $b_k(m)$  adalah vektor-vektor koefisien perhitungan differensiasi sentral dari medan pembantu pada impedansi jenis medan TE. *Input* matriks Jacobian untuk impedansi ke- $k$  atau data TE terhadap parameter model ke-1 kemudian dihitung sebagai:

$$\begin{aligned} J^{kl}(m) &= \frac{\partial Z^k(m)}{\partial m^l} = \frac{1}{b_k^T E_x} \frac{\partial(a_k^T)}{\partial m^l} - \frac{a_k^T E_x}{(b_k^T E_x)^2} \frac{\partial(b_k^T E_x)}{\partial m^l} \\ &= \left( \frac{1}{b_k^T E_x} \frac{\partial a_k}{\partial m^l} - \frac{a_k^T E_x}{(b_k^T E_x)^2} \frac{\partial b_k}{\partial m^l} \right)^T + \left( \frac{1}{b_k^T E_x} a_k - \frac{a_k^T E_x}{(b_k^T E_x)^2} \frac{\partial(b_k^T E_x)}{\partial m^l} b_k \right)^T \frac{\partial E_x}{\partial m^l} \end{aligned} \quad (2.28)$$

Dengan definisi:

$$c_k = \frac{1}{b_k^T E_x} a_k - \frac{a_k^T E_x}{(b_k^T E_x)^2} b_k \quad (2.29)$$

$$d^{kl} = \frac{1}{b_k^T E_x} \frac{\partial a_k}{\partial m^l} - \frac{a_k^T E_x}{(b_k^T E_x)^2} \frac{\partial b_k}{\partial m^l} \quad (2.30)$$

Dengan menurunkan persamaan (2.30) terhadap  $m$ , maka dihasilkan persamaan (2.31) sebagai berikut:

$$K \frac{\partial X}{\partial m^l} = -\frac{\partial K}{\partial m^l} E_x + \frac{\partial s}{\partial m^l} \quad (2.31)$$

Persamaan (2.29, 2.30, dan 2.31) disubstitusikan ke persamaan (2.28), sehingga dihasilkan matriks Jacobian sebagai berikut:

$$\begin{aligned} J^{kl}(m) &= d_{kl}^T + c_k^T K^{-1} \left( \frac{\partial K}{\partial m^l} E_x + \frac{\partial s}{\partial m^l} \right) \\ &= d_{kl}^T E_x + u_k^T \left( -\frac{\partial K}{\partial m^l} E_x + \frac{\partial s}{\partial m^l} \right) \end{aligned} \quad (2.32)$$

Perhitungan  $u_k$  sebagai solusi permasalahan *forward modelling*  $K^T u_k = c_k$  memanfaatkan sifat timbal balik dari permasalahan ke depan (simetrisitas matriks sistem  $K$  dan inversinya). Perhitungan  $u_k$  untuk  $k=1, 2, 3, \dots, N$  secara signifikan



lebih cepat dari pada perhitungan  $K^{-1} \left( -\frac{\partial K}{\partial m^l} E_x + \frac{\partial s}{\partial m^l} \right)$  untuk  $l = 1, 2, 3, \dots, M$

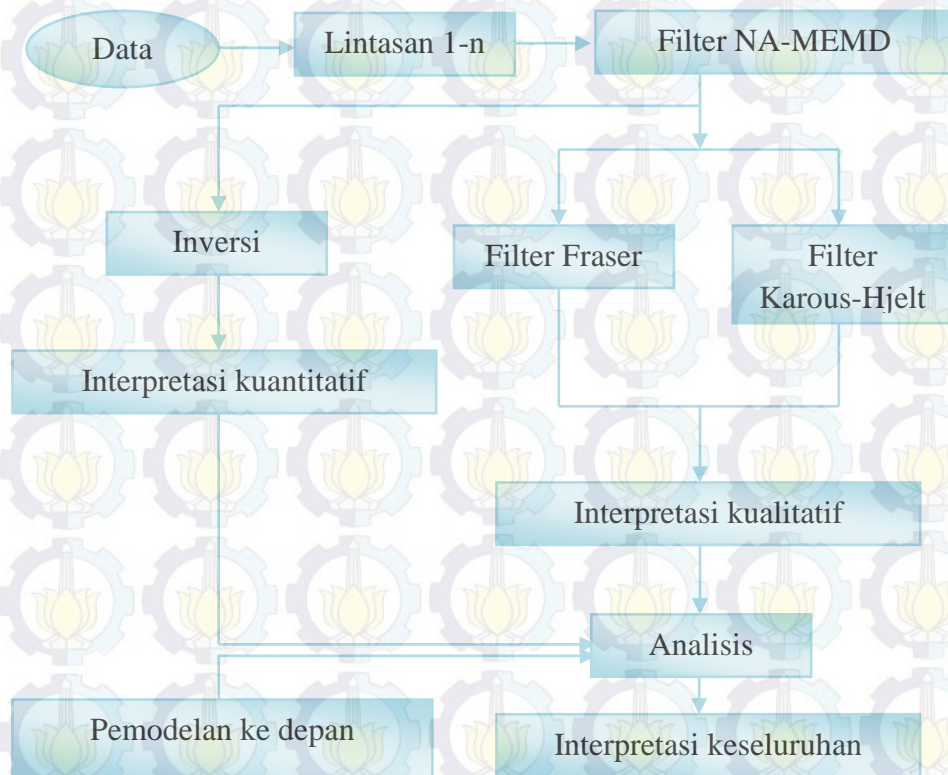
dalam kasus 2-D yang termasuk dalam kasus *underdetermined* (jumlah parameter model melebihi jumlah data atau  $M > N$ ).



## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Rancangan Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir rancangan penelitian

#### 3.2 Perangkat Penelitian

##### 3.2.1 Peralatan

Peralatan yang diperlukan pada akuisisi data di lapangan antara lain:

a. Alat VLF : *Envi Scintrex*



c. Roll meteran





b. Kompas geologi



d. GPS (*Global Positioning System*)



Gambar 3.2 Alat-alat penelitian

### 3.2.2 Perangkat Lunak

Perangkat lunak (*software*) yang digunakan dalam proses pengolahan data sebagai berikut:

- Microsoft Excel*, yang digunakan untuk menghitung nilai *inphase*, *quadrature*, *T-fild*, dan *tilt*.
- Inv2DVLf*, yang digunakan untuk memodelkan rapat arus ekuivalen berdasarkan data tipper (*inphase* dan *quadrature*).
- Matlab R2010a*, yang digunakan untuk menampilkan hasil inversi data VLF dan untuk mengestimasi dan menampilkan hasil filter *inphase*, *quadrature*, *T-fild*, dan *tilt*. Filter yang digunakan pada penelitian ini adalah filter NA-MEMD, filter Fraser, dan filter Karous-Hjelt.

### 3.3 Lokasi Penelitian

Daerah penelitian berada di Desa Melirang, Kecamatan Bungah, Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Secara geografis daerah penelitian ini terletak pada  $7^{\circ}1'41''\text{LS}$  -  $7^{\circ}2'28.81''\text{LS}$  dan  $112^{\circ}31'57.02''\text{BT}$  -  $112^{\circ}32'55.54''\text{BT}$ . Daerah tersebut dengan batas wilayah sebagai berikut:

- |                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| Sebelah Utara   | : Desa Raci Wetan     |
| Sebelah Selatan | : Bengawan Solo       |
| Sebelah Timur   | : Desa Sidorejo       |
| Sebelah Barat   | : Desa Mojopuro Wetan |





Gambar 3.3 Peta Desa Melirang Kecamatan Bungah Kabupaten Gresik



Gambar 3.4 Peta Lintasan Pengukuran VLF-EM



### 3.4. Akuisisi Data

Akuisisi data dilakukan di Desa Melirang, Kecamatan Bungah, Kabupaten Gresik dengan teknik konvensional (berdiri) dengan operator menghadap ke pemancar. Pengambilan data lapangan dilakukan pada enam lintasan dengan panjang masing-masing 550 meter, dengan jarak spasi pengukuran 5 meter, dan jarak antar lintasan pengukuran 100, 200, dan 300 meter. Penentuan besar spasi antar lintasan dan spasi antar titik tersebut berdasarkan pertimbangan bahwa diperkirakan batuan dolomit yang ada di bawah permukaan dapat berukuran besar. Pada setiap titik pengukuran, menghidupkan alat VLF-EM dan mencatat data yang terekam oleh *Envi Scintrex*. Data yang diperoleh dari hasil pengukuran VLF-EM, antara lain: *In-phase*, *quadrature*, *t-field* dan *tilt*.

### 3.5. Pengolahan, Analisis, dan Interpretasi Data

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran VLF-EM ditulis kembali ke dalam bentuk *excel*. Data *inphase* dan *quadrature* kemudian dimasukkan ke dalam matlab untuk dilakukan proses filter NA-MEMD. Sebelum dilakukan proses *filtering*, data *inphase* dan *quadrature* ditambahkan 2 *channel white gaussian noise*, pada akhirnya terbentuk data *multivariate* dengan 4 *channel*, dimana *channel white gaussian noise* yang ditambahkan tersebut masing-masing memiliki 2% variansi *inphase* dan *quadrature*. Kemudian 4 *channel* tersebut difilter dengan menggunakan algoritma MEMD. Data hasil *filtering* kemudian diinterpretasi secara kualitatif menggunakan *software Khffilt* (filter Fraser dan Karous-Hjelt) dengan bantuan matlab sehingga dihasilkan profil letak anomali yang lebih konduktif dan resesif. Interpretasi kuantitatif juga dilakukan dengan menggunakan *software Inv2DVLf* untuk mendapatkan rapat arus ekuivalen. *Forward Modelling* menggunakan *prepVLF* dilakukan pada suatu daerah konduktif, sehingga dapat diajukan acuan pada hasil interpretasi. Hasil penelitian ini juga divalidasi dengan menggunakan data geolistrik resistivitas 2D.



## BAB 4

### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Uji Filter NA-MEMD pada Data Sintetik

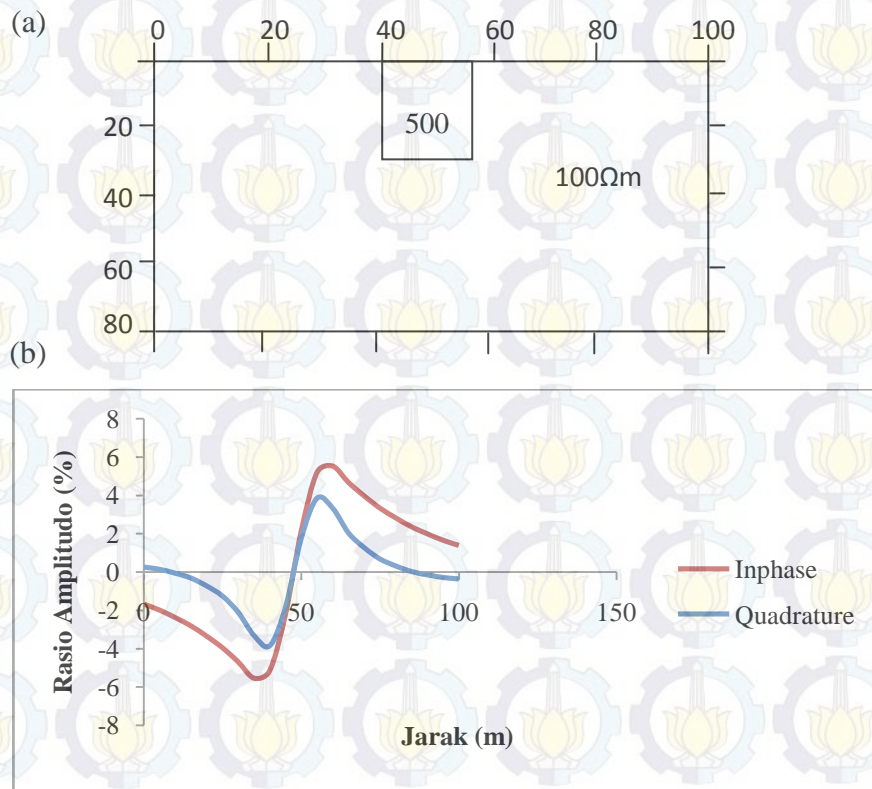
Filter yang digunakan dapat berjalan dengan baik atau tidak, maka diperlukan suatu pengujian terhadap data sintetik VLF-EM. Data sintetik dibentuk, kemudian ditambahkan *noise* dan difilter dengan menggunakan NA-MEMD.

Data sintetik dibentuk menggunakan *software* PrepVLForw-v1 dan Inv2DVLF-v1 yang dibuat oleh Santos (2007). Proses pembentukan data sintetik ini juga disebut sebagai *forward modelling*, karena bersifat memodelkan bentuk lapangan dengan merancang kondisi sesuai sifat lapangan tersebut. Proses pembentukan data diawali menggunakan *software* PrepVLForw-v1 dengan memasukkan data (nama data, jumlah data, frekuensi pengukuran, dan spasi), koordinat (koordinat *finite element* di udara, koordinat lingkungan arah x, koordinat lingkungan arah z, jumlah anomali, resistivitas lingkungan, koordinat anomali, dan resistivitas anomali), dan topografi setiap titik pengukuran. Hasil yang didapatkan akan menjadi masukan untuk proses inversi menggunakan *software* Inv2DVLF-v1. Keluaran dari *software* Inv2DVLF-v1 berupa nilai *inphase* dan *quadrature*.

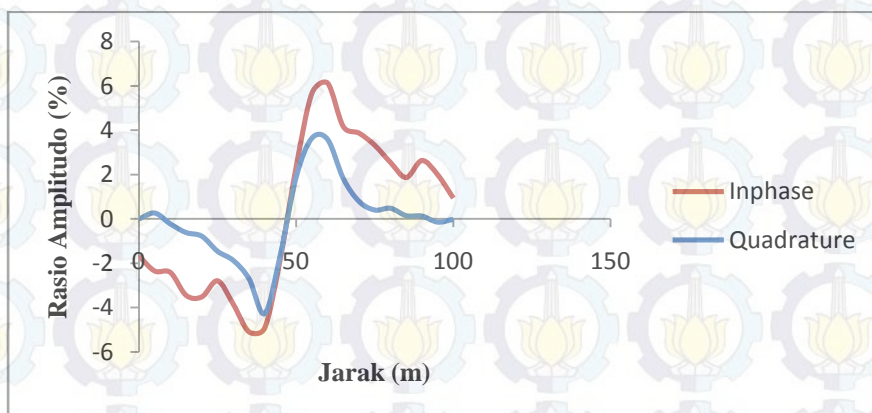
Pada penelitian ini, sebuah model sintetik dibuat dengan jumlah titik pengukuran sebanyak 21 titik, yaitu dari 0 - 100 meter, jarak spasi pengukuran 5 meter, resistivitas lingkungan sebesar 100 ohm meter, dan satu benda konduktif (500 ohm meter pada posisi 40 - 55 meter dan kedalaman 0 - 30 meter). Data sintetik kemudian dibangkitkan pada frekuensi 19,8 kHz. Gambar 4.1 (a) merupakan gambaran model sintetik yang dibuat, sedangkan Gambar 4.1 (b) merupakan sinyal data sintetik yang terdiri dari komponen real dari data tipper (*inphase*) dan komponen imajiner dari data tipper (*quadrature*). Kemudian *noise* ditambahkan pada data sintetik (Gambar 4.2), dimana *noise* yang ditambahkan sebagaimana pada keadaan lapangan, yaitu *white noise*. *Noise* yang ditambahkan cukup besar yaitu dengan SNR (*Signal Noise Ratio*) sebesar 17dB, dimana



penambahan *noise* ini sangat berpengaruh pada hasil interpretasi data VLF. Sinyal + *noise* kemudian difilter dengan menggunakan NA-MEMD dan hasil *filtering* seperti pada Gambar 4.3. Proses *filtering* dilakukan dengan menggunakan 2 channel *noise* tambahan, dimana masing-masing *noise* memiliki variansi sebesar 2% variansi input (*inphase* dan *quadrature*).



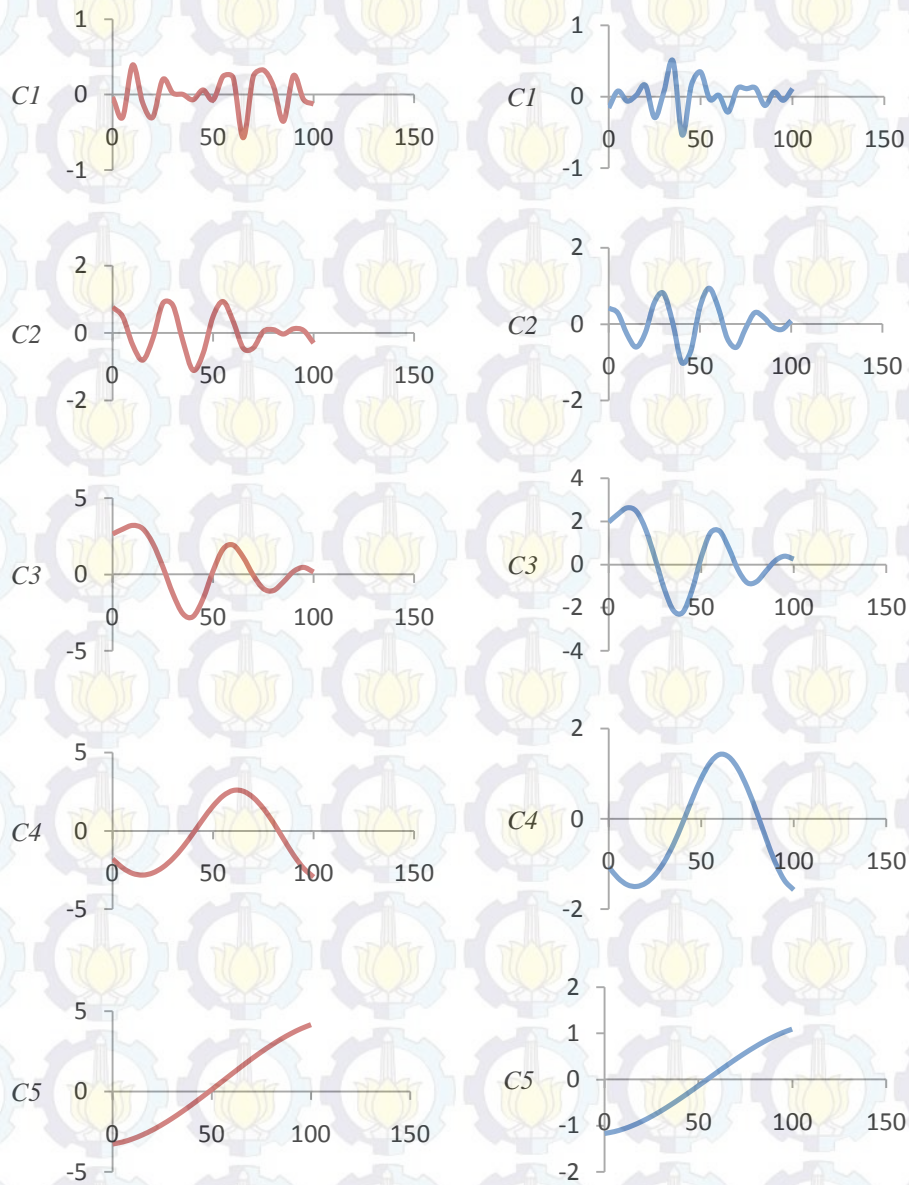
Gambar 4.1 Model sintetis dengan satu benda konduktif  
(a) desain model  
(b) sinyal data sintetis



Gambar 4.2 Sinyal data sintetis ditambahkan *noise* dengan SNR sebesar 17dB

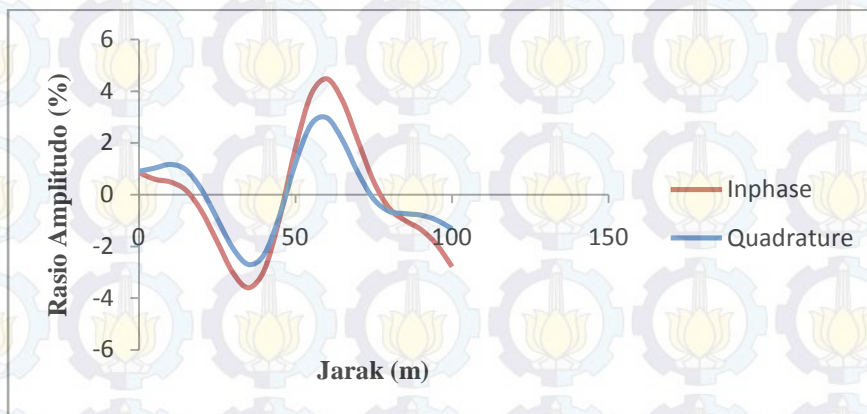


Dengan menerapkan prinsip seleksi yang diusulkan sebelumnya (Jeng *et al.*, 2007), maka komponen  $C_1$  dan  $C_2$  harus dieliminasi, karena menunjukkan distribusi yang kaya akan gelombang harmonik transien (frekuensi tinggi). Oleh karena itu, sinyal VLF-EM dapat direkonstruksi dari  $C_3$  dan  $C_4$ . Dengan menjumlahkan  $C_3$  dan  $C_4$ , maka diperoleh sinyal seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Hasil dekomposisi sinyal data sintetik yang ditambahkan noise dengan menggunakan NA-MEMD (a) *Inphase* (b) *Quadrature*.  $C_1$  sampai  $C_4$  merupakan imf, sedangkan  $C_5$  adalah *residue*.





Gambar 4.4 Hasil *filtering* menggunakan NA-MEMD terhadap data yang ditambahkan *noise*

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa untuk *noise* yang cukup besar, yaitu SNR sebesar 17dB, filter NA-MEMD dapat diterapkan pada sinyal VLF-EM.

#### 4.2. Pengolahan dan Analisis Data Lapangan

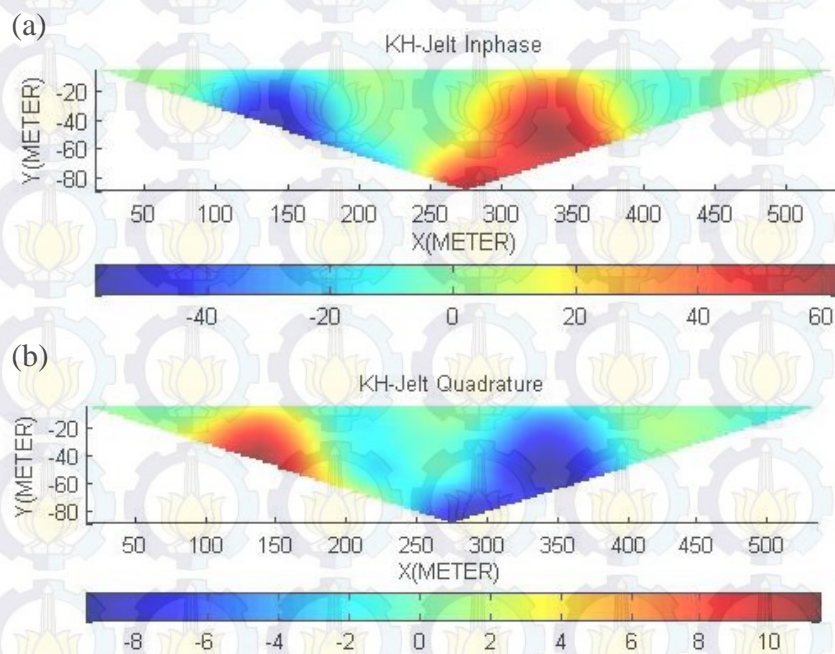
Setelah dilakukan pengujian filter dengan menggunakan data sintetik VLF-EM, selanjutnya dilakukan penerapan filter yang sebelumnya dibentuk untuk pengolahan data lapangan VLF-EM. Data lapangan tersebut diukur di Desa Melirang, Kecamatan Bungah, Kabupaten Gresik pada tanggal 21-26 Desember 2013. Hasil pengukuran ini digunakan untuk mengkarakterisasi bawah permukaan dan menentukan sebaran batuan dolomit. Interpretasi data dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif dengan menggunakan filter Fraser, Karous-Hjelt, dan Inv2DVLF.

Pada sub-bab ini, interpretasi secara kualitatif dilakukan dengan menggunakan filter Karous-Hjelt. Prinsip filter ini untuk menganalisa rapat arus pada berbagai kedalaman dan lokasi yang akan menimbulkan medan magnet yang sama dengan pengukuran VLF-EM, serta memakai teori filter linear untuk memecahkan persamaan integral dari distribusi arus. Hal ini diasumsikan pada lokasi horizontal dari variasi rapat arus pada kedalaman yang sama antar titik pengukuran. Spasi jarak titik-titik data penelitian akan berpengaruh terhadap ketebalan jangkauan arus (persamaan 2.15). Pengambilan data lapangan pada titik-titik pengukuran yang lebih jauh, rapat arus yang dapat dijangkau juga

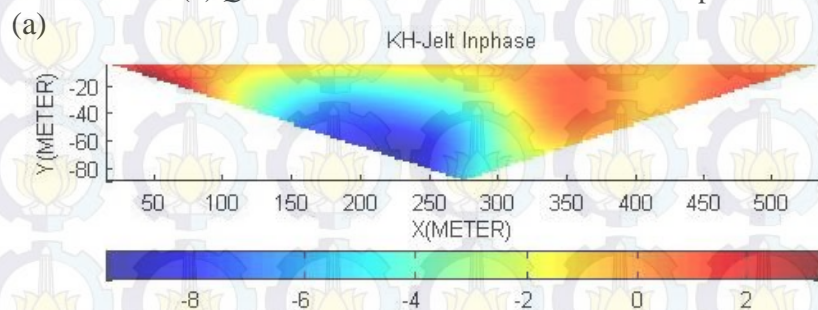


semakin dalam. Berikut hasil interpretasi dan pembahasan pada masing-masing lintasan.

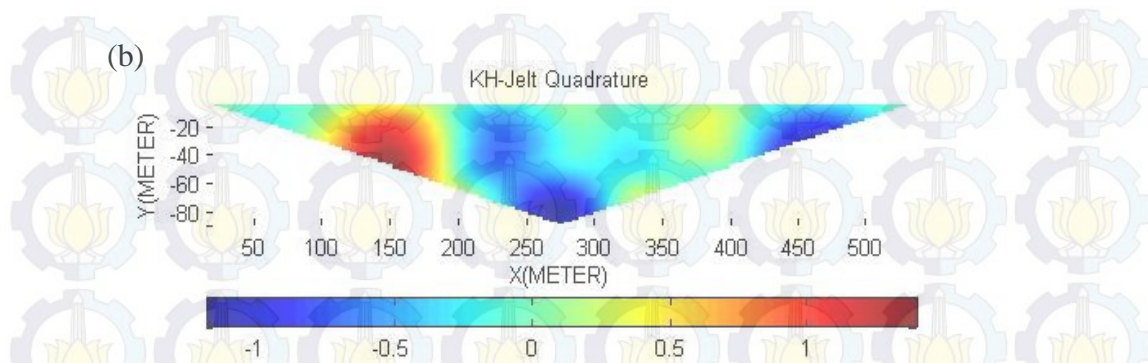
Data pengukuran untuk masing-masing lintasan meliputi: nilai *inphase* dan *quadrature*, spasi yang digunakan pada saat pengukuran sebesar 5 meter dengan titik pengukuran sebanyak 111 titik dan panjang lintasannya sejauh 550 meter. Untuk lintasan 1 dan 2 pada masing-masing koordinat  $7^{\circ}2'10.66''\text{S}$   $112^{\circ}32'42.69''\text{T}$  -  $7^{\circ}2'27.59''\text{S}$   $112^{\circ}32'32.78''\text{T}$  dan  $7^{\circ}1'59.90''\text{S}$   $112^{\circ}32'37.90''\text{T}$  -  $7^{\circ}2'16.80''\text{S}$   $112^{\circ}32'28.00''\text{T}$ , diperoleh rapat arus ekivalen yang dihasilkan oleh filter Karous Hjelt.



Gambar 4.5 Gambar hasil filter Karous Hjelt (a) *Inphase* dan (b) *Quadrature* dari hasil filter NA-MEMD pada lintasan 1.



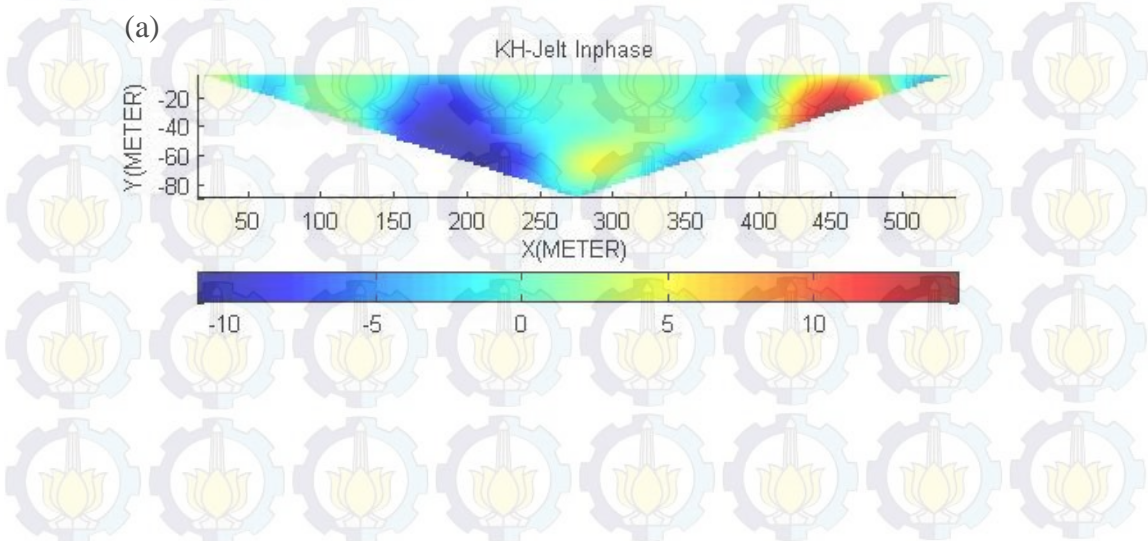




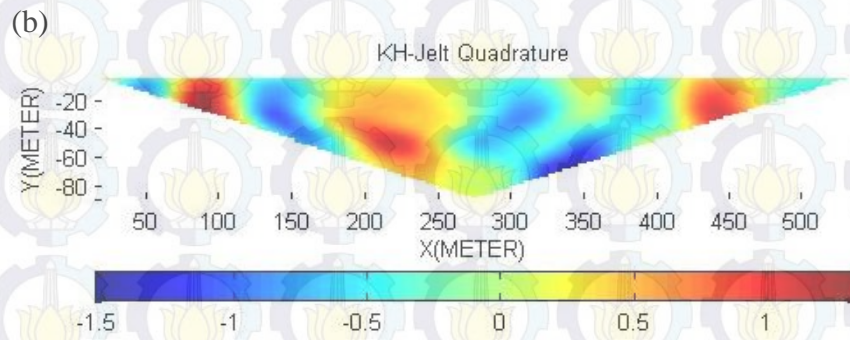
Gambar 4.6 Gambar hasil filter Karous-Hjelt (a) *Inphase* dan (b) *Quadrature* dari hasil filter NA-MEMD pada lintasan 2

Berdasarkan gambar di atas, hasil Karous-Hjelt yang diperoleh pada penelitian ini lebih bersih dari *noise* karena tidak terdapat banyak garis nilai resistivitas. Sehingga tidak muncul ambiguitas yang tinggi ketika menginterpretasikan letak anomali sebagai batuan dolomit. Hasil filter Karous-Hjelt pada lintasan 1, diperoleh sebaran anomali sebagai batuan dolomit pada data *inphase* ditunjukkan dengan warna kuning ke merah pada jarak 240 - 390 meter dan data *quadrature* ditunjukkan dengan warna biru pada jarak 240 - 390 meter. Sedangkan pada lintasan 2 terdapat dua lokasi anomali pada daerah 0 - 100 meter dan 320 - 550 meter.

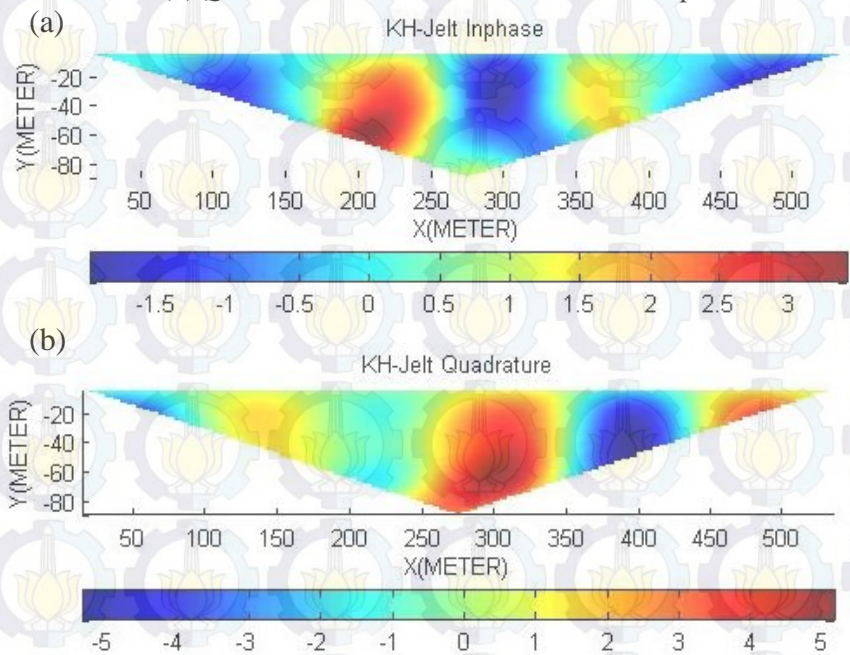
Pada lintasan 3 dan 4, dengan koordinat  $7^{\circ}2'3.90''\text{S}$   $112^{\circ}32'8.36''\text{T}$  -  $7^{\circ}2'13.61''\text{S}$   $112^{\circ}32'25.40''\text{T}$  dan  $7^{\circ}2'1.26''\text{S}$   $112^{\circ}32'9.98''\text{T}$  -  $7^{\circ}2'11.80''\text{S}$   $112^{\circ}32'28.60''\text{T}$ , diperoleh rapat arus ekuivalen yang dihasilkan oleh filter Karous-Hjelt.







Gambar 4.7 Gambar hasil filter Karous-Hjelt (a) *Inphase* dan (b) *Quadrature* dari hasil filter NA-MEMD pada lintasan 3

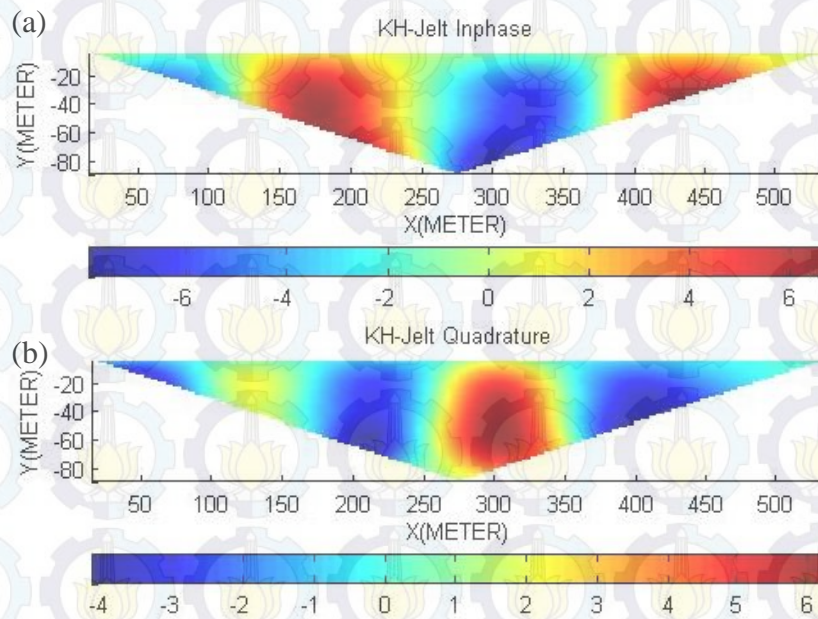


Gambar 4.8 Gambar hasil filter Karous-Hjelt (a) *Inphase* dan (b) *Quadrature* dari hasil filter NA-MEMD pada lintasan 4

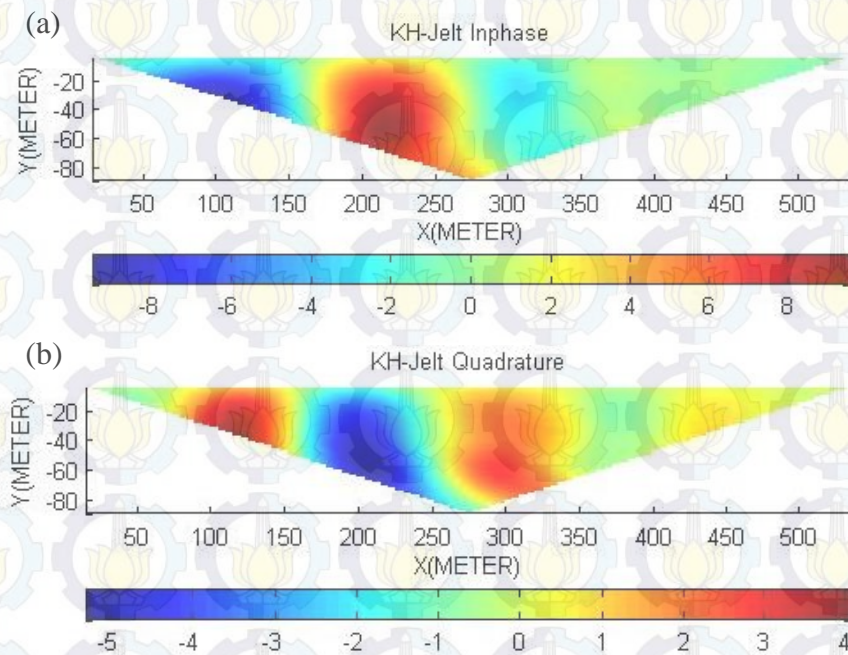
Berdasarkan gambar di atas, hasil filter Karous-Hjelt yang diperoleh pada penelitian ini lebih bersih dari *noise* karena tidak terdapat banyak garis nilai resistivitas. Penggambaran hasil Karous-Hjelt pada lintasan 3 memiliki satu lokasi anomali pada daerah 420 - 480 meter, sedangkan lintasan 4 memiliki dua lokasi anomali pada daerah 170 - 250 meter dan 370 - 390 meter.

Sedangkan untuk lintasan 5 dan 6, dengan koordinat  $7^{\circ}1'58.00''S$   $112^{\circ}32'10.70''T$  -  $7^{\circ}2'27.70''S$   $112^{\circ}32'27.70''T$  dan  $7^{\circ}1'53.20''S$   $112^{\circ}32'14.90''T$  -  $7^{\circ}2'13.61''S$   $112^{\circ}32'25.40''T$ , diperoleh rapat arus ekivalen yang dihasilkan oleh filter Karous-Hjelt.





Gambar 4.9 Gambar hasil filter Karous-Hjelt (a) *Inphase* dan (b) *Quadrature* dari hasil filter NA-MEMD pada lintasan 5

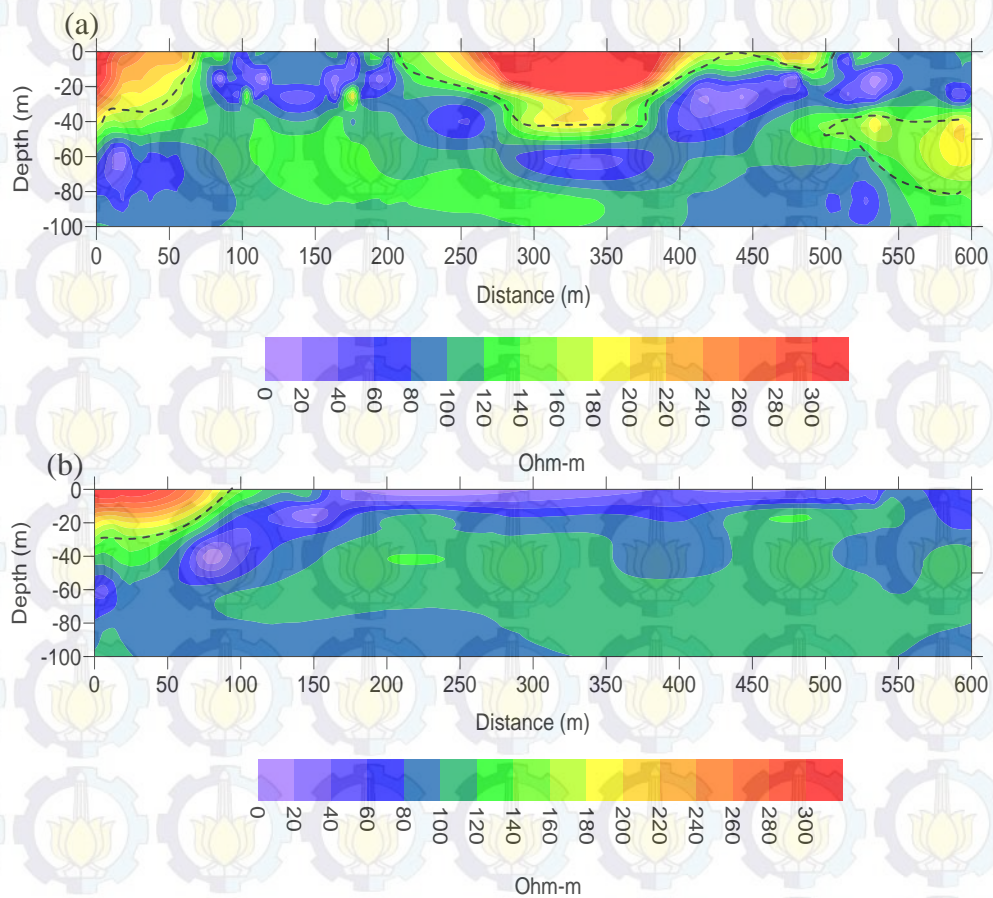


Gambar 4.10 Gambar hasil filter Karous-Hjelt (a) *Inphase* dan (b) *Quadrature* dari hasil filter NA-MEMD pada lintasan 6

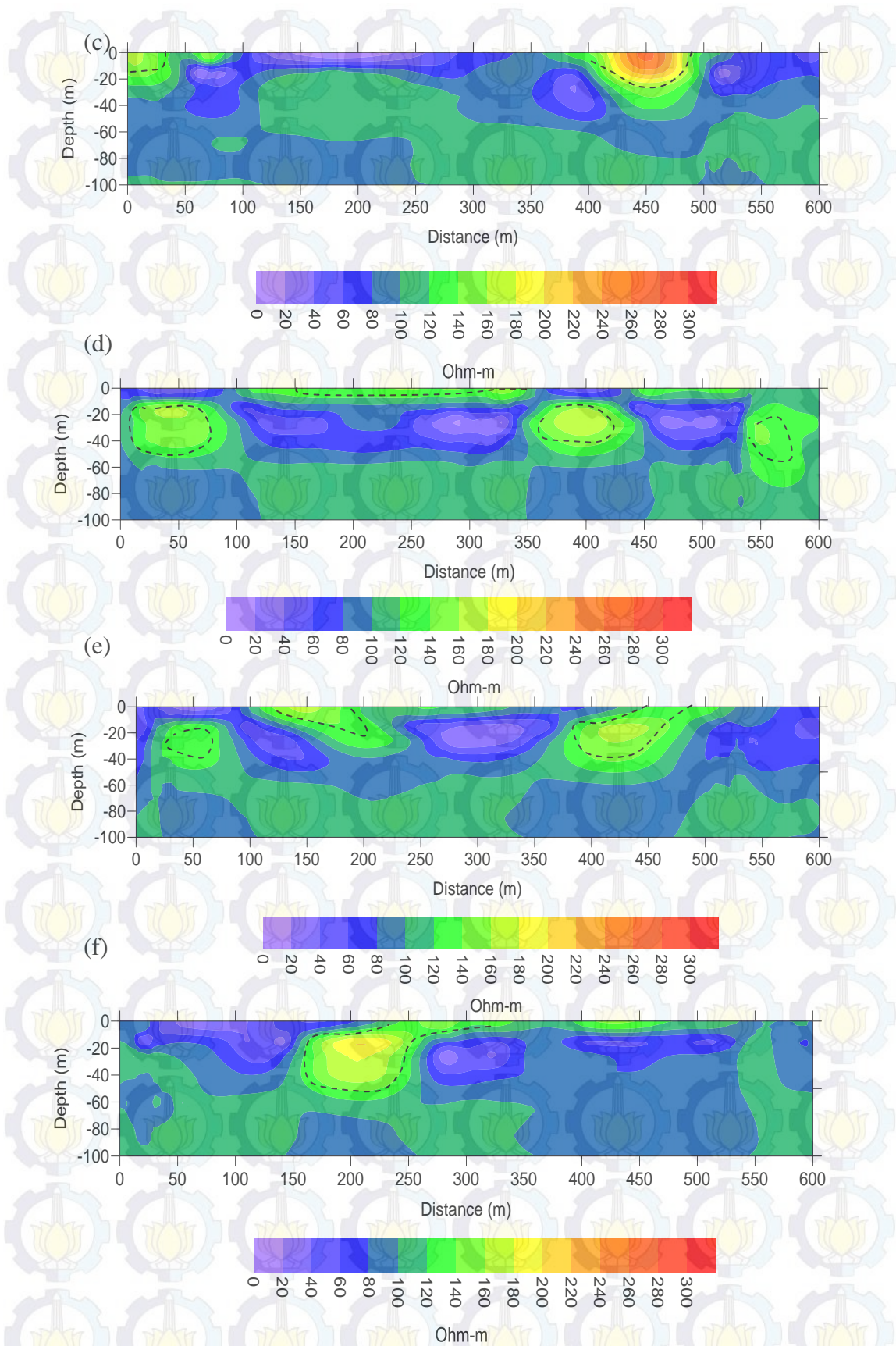
Hasil filter Karous-Hjelt pada lintasan 5 diperoleh dua lokasi anomali pada daerah 120 - 240 meter dan 380 - 500 meter. Sedangkan lintasan 6 memiliki satu lokasi anomali pada daerah 170 - 290 meter.



Model hasil filter Karous-Hjelt memperlihatkan letak anomali yang baik terhadap horizontal, tetapi tidak baik terhadap vertikal dan juga tidak dapat menghasilkan informasi distribusi konduktivitas atau resistivitas sebenarnya pada arah kedalamannya, sehingga data tersebut membutuhkan proses inversi. Inversi bertujuan untuk mendapatkan distribusi konduktivitas atau resistivitas di bawah permukaan yang sebenarnya, sehingga menghasilkan respon sesuai dengan batas resistivitas pada data (Karous dan Hjelt, 1983). Pada penelitian lebih lanjut dengan metode VLF-EM-VGRAD (Gufron, 2010) mengidentifikasi nilai resistivitas batuan dolomit sebesar  $100-10^4$  ohm meter. Sedangkan interpretasi secara kuantitatif dilakukan menggunakan proses inversi dengan bantuan perangkat lunak PrepVLFForw-v1 dan Inv2DVLF-v1 (Monteiro Santos, 2007). Iterasi yang digunakan sebanyak 50 kali. Berikut hasil interpretasi inversi pada masing-masing lintasan.







Gambar 4.11 Hasil inversi data lapangan (a) lintasan 1, (b) lintasan 2, (c) lintasan 3, (d) lintasan 4, (e) lintasan 5, dan (f) lintasan 6



Hasil inversi pada setiap lintasan yang terdapat pada Gambar 4.11, memperlihatkan model yang berkesinambungan antar lintasannya. Pada lintasan 1 terdapat perbedaan warna yang merupakan suatu perbedaan besar resistivitas keadaan lapisan di dalam tanah. Berdasarkan skala terlihat bahwa warna ungu atau biru dan cenderung memperlihatkan sifat resistivitas yang rendah, pada hasil penggambaran memperlihatkan nilai resistivitas rendah tersebar di semua titik pada lintasan 1. Selain itu, untuk warna hijau mengarah ke merah mempunyai nilai resistivitas yang meningkat. Hal tersebut diprediksi bahwa adanya anomali yang berupa batuan dolomit pada jarak 0 - 70 meter dengan kedalaman 0 - 75 meter, jarak 250 - 400 meter dengan kedalaman 0 - 50 meter, dan jarak 540 - 550 meter dengan kedalaman 40 - 60 meter. Nilai resistivitas batuan dolomit antara 120 - 300 ohm meter dan RMS sebesar 7,32. Pada lintasan 2 memperlihatkan nilai resistivitas tinggi pada jarak 0 - 100 meter dengan kedalaman 0 - 35 meter. yang merupakan daerah padang rumput dengan sedikit bebatuan dolomit. Nilai resistivitas batuan dolomit antara 120 - 300 ohm meter dan RMS sebesar 0,63.

Pada lintasan 3 diperoleh nilai resistivitas tinggi terdapat dua lokasi yaitu pada jarak 0 - 50 meter dengan kedalaman 0 - 30 meter dan pada jarak 420 - 480 meter dengan kedalaman 0 - 30 meter. Dimungkinkan anomali tersebut berupa batuan dolomit dengan nilai resistivitasnya antara 120 - 300 ohm meter dan RMS sebesar 0,34. Untuk lintasan 4 tampak warna ungu mengarah ke hijau dan cenderung memperlihatkan sifat resistivitas yang rendah, sedangkan warna kuning mengarah ke merah mempunyai nilai resistivitas yang meningkat. Pada nilai resistivitas yang meningkat diprediksi bahwa adanya anomali yang berupa batuan dolomit pada jarak 10 - 90 meter dengan kedalaman 15 - 50 meter, jarak 110 - 350 meter dengan kedalaman 0 - 15 meter, jarak 360 - 440 meter dengan kedalaman 15 - 50 meter, dan jarak 540 - 550 meter dengan kedalaman 20 - 70 meter. Nilai resistivitas batuan dolomit antara 120 - 170 ohm meter dan RMS sebesar 0,10.

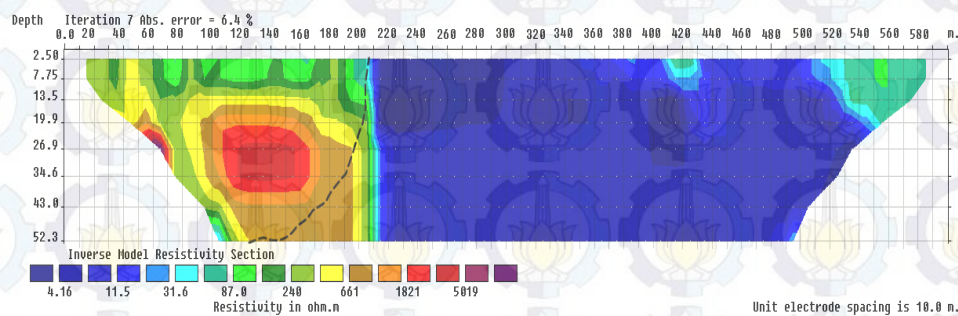
Pada lintasan 5 dan 6, diperoleh warna ungu menuju ke hijau dan cenderung memperlihatkan sifat resistivitas yang rendah, sedangkan warna kuning mengarah ke merah mempunyai nilai resistivitas yang meningkat. Untuk lintasan 5, nilai resistivitas tinggi terdapat tiga lokasi yaitu pada jarak 30 - 60 meter dengan kedalaman 20 - 40 meter, jarak 120 - 240 meter dengan kedalaman 0 - 30



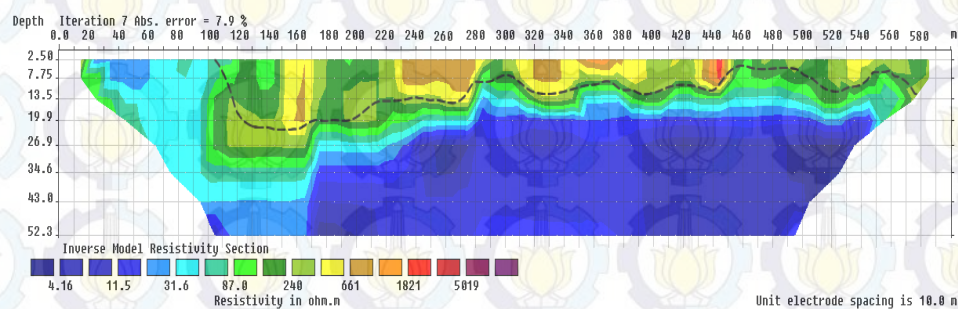
meter, lokasi ini merupakan kebun dengan batuan dolomit yang tersebar merata. Pada jarak 380 - 500 meter dengan kedalaman 15 - 50 meter, lokasi ini merupakan area batu karst (dolomit) dan kebun. Lokasi tersebut merupakan daerah dengan penuh batuan dolomit sehingga menimbulkan pembacaan resistivitas tinggi. Nilai resistivitas batuan dolomit antara 120 - 170 ohm meter dan RMS sebesar 0,04. Sedangkan lintasan 6, nilai resistivitas tinggi terdapat satu lokasi yaitu pada jarak 170 - 290 meter dengan kedalaman 0 - 50 meter. Nilai resistivitas batuan dolomit antara 120 - 200 ohm meter. Lokasi tersebut merupakan daerah tebing dengan penuh batuan dolomit sehingga menimbulkan pembacaan resistivitas tinggi dan RMS sebesar 0,09.

Pada penelitian ini juga, dilakukan pemodelan untuk mengetahui hasil inversi penampang (*pseudosection*) 2D dengan metode geolistrik yang ditunjukkan pada Gambar 4.12.

(a)



(b)



Gambar 4.12 Penampang 2D metode geolistrik (a) lintasan 14 dan  
(b) lintasan 8

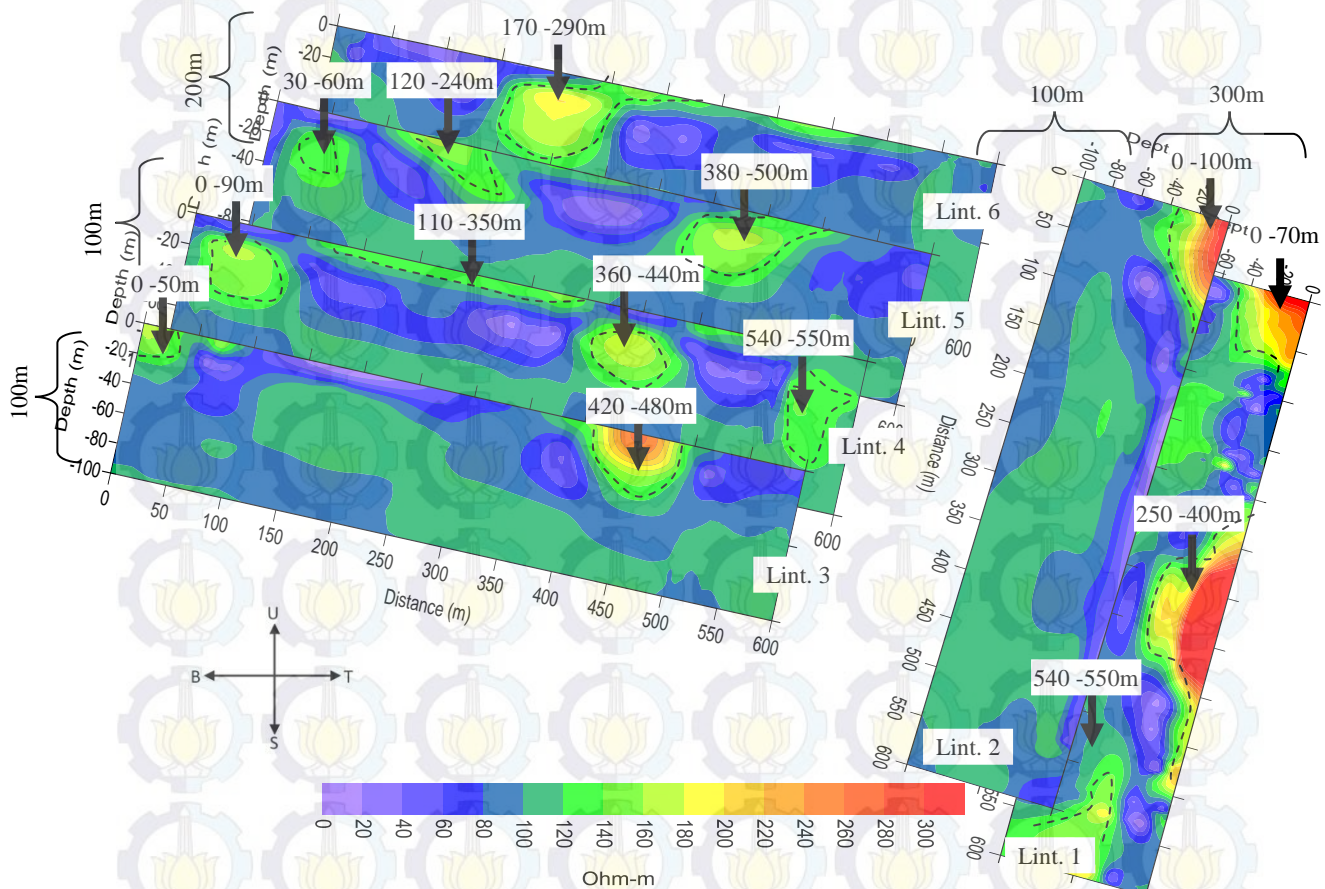
Berdasarkan referensi nilai resistivitas batuan dolomit antara  $10^2$  -  $10^4$  ohm meter. Hasil inversi 2D dengan metode geolistrik pada lintasan 14 dan 8,



diperoleh range nilai resistivitas batuan dolomit antara 240 – 5019 ohm meter dengan RMS 6,4% dan 7,9%. Pada lintasan 14 terdapat titik anomali tertinggi pada jarak 0 – 200 meter dengan kedalaman antara 19,9 – 43,0 meter dan lintasan 8 anomali tertinggi terletak dijarak 100 – 580 meter dengan kedalaman 2,50 – 26,9 meter diinterpretasi sebagai batuan dolomit.

### 4.3 Interpretasi Persebaran

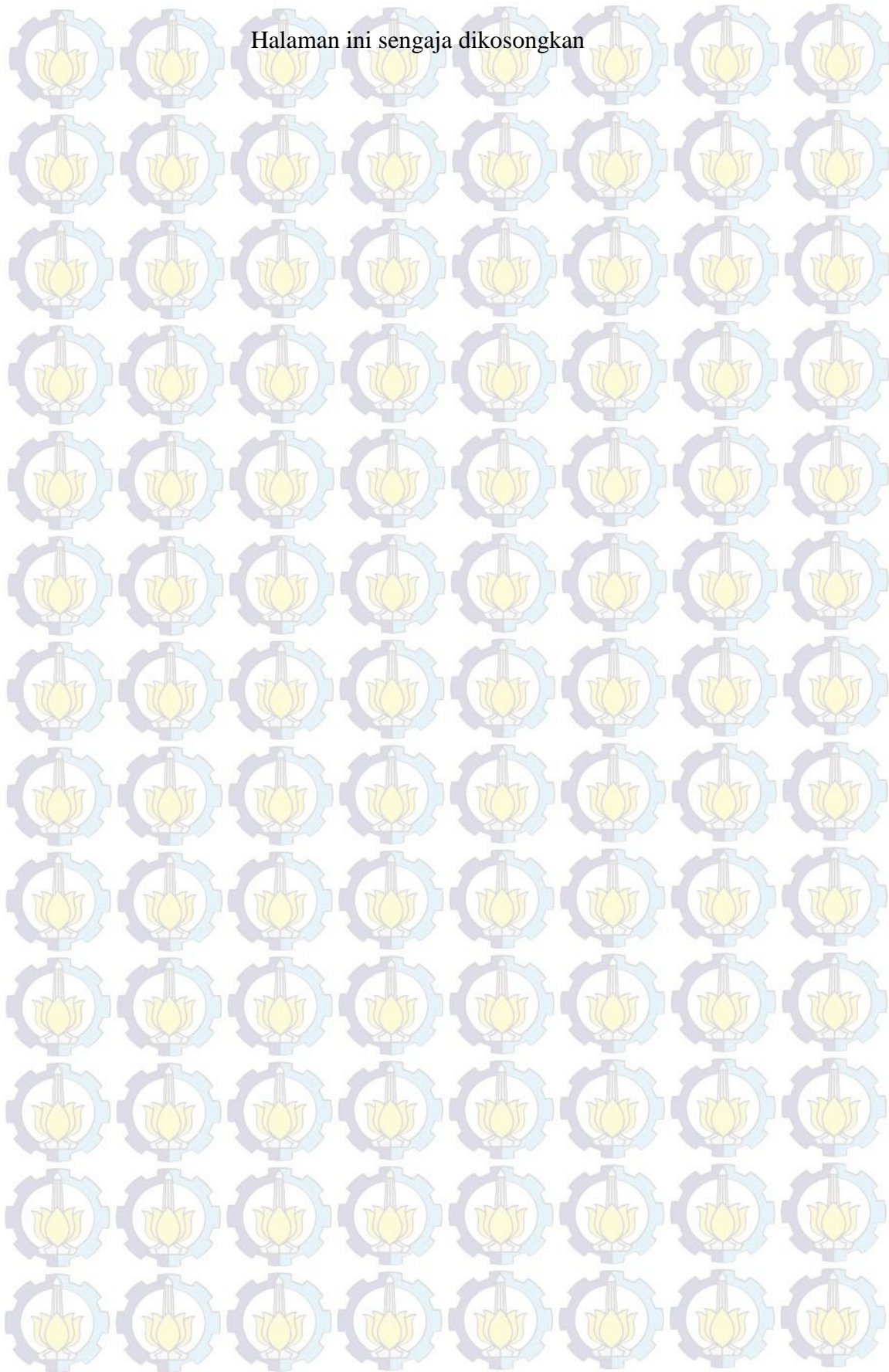
Interpretasi data resistivitas 2-D ini dilakukan di setiap lintasan. Penelitian ini menggunakan enam lintasan yang terdiri dari lintasan 1 dan 2 dengan arah lintasan dari utara ke selatan, sedangkan lintasan 3 sampai 6 dengan arah lintasan timur ke barat. Selanjutnya, dilakukan integrasi hasil interpretasi pada setiap lintasan tersebut dalam satu kesatuan. Hasil integrasi ini digunakan untuk mengetahui arah penyebaran batuan dolomit yang ada di Desa Melirang Kecamatan Bungah Kabupaten Gresik. Jalur batuan dolomit dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Sebaran batuan dolomit lintasan 1 sampai 6



Halaman ini sengaja dikosongkan





## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Tarazi, E., Abu Rajab, J., Al-Naqa, A. dan El-Waheidi, M. (2008), "Detecting Leachate Plumes and Groundwater Pollution at Ruseifa Municipal Landfill utilizing VLF-EM Method", *Journal of Applied Geophysics*, Vol. 65, No. 3-4, hal. 121–131.
- Bahri, A.S, Santoso, D, Paradimedja, D.D, Tofan RM, Santos, FM.(2008), "Penerapan Metode VLF-EM-Vgrad untuk Memetakan Sungai Bawah Permukaan Daerah Karst". *Indonesian Scientific Karst*, Yogyakarta, hal. 19-20.
- Bernard, J. dan Valla, P. (1991), "Groundwater Exploration Infissured Media with Electrical and VLF Methods", *Geoexploration*, Vol. 27, No. 1-2, hal. 81–91.
- Bosch, F.P. dan Muller, I.(2001), "Continuous gradient VLF measurements: a new possibility for high resolution mapping of kars structures", *First Break*, Vol. 19, hal. 343-350.
- BPS. (2012), "Data Iklim dan Geografi Kabupaten Gresik", <http://gresikkab.bps.go.id/index.php?hal=tabel&id=1> (Online) diakses 6 Maret 2014.
- DeGroot-Hedlin C. dan Constable S. (1990), "Occam's inversion to generate smooth, two dimensional models for magnetotelluric data", *Geophysics*, Vol. 55, No. 12, hal. 1613-1624.
- Febriana, E. (2011), "Kalsinasi Dolomit Lamongan Untuk Pembuatan Kalsium-Magnesium Oksida Sebagai Bahan Baku Kalsium dan Magnesium Karbonat Presipitat". Skripsi Sarjana Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta.
- Feriadi, Y. (2013), "Aplikasi *Multivariate Empirical Mode Decomposition* pada Metode *Very Low Frequency Electromagnetic* untuk Analisa Tanggul Lumpur Sidoarjo". Tesis FMIPA ITS, Surabaya.
- Fischer, G., Le Quang, B.V. dan Muller, I. (1983), "VLF Ground Surveys: a Powerful Tool for the Study of Shallow Two-Dimensional Structures", *Geophysical Prospecting*, Vol. 31, No. 6, hal. 977–991.
- Fraser, D.C. (1969), "Contouring of VLF-EM Data", *Geophysics*, Vol. 34, No. 6, hal. 958–967.
- Grandis, H. (2009), *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*, Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI).



- Gufron. (2010), "Estimasi Penyebaran Deposit Fosfat di Wilayah Perum Perhutani KPH Pati BKPH Sukolilo Pati dengan Metode *Very Low Frequency Elektromagnetik Vertikal Gradient* (VLF-EM-VGrad)". Tesis FMIPA ITS, Surabaya.
- Holly, I., Kumala, H. S. R., Ardiansyah, D., Rifky, Iqbal, R. M., Dita, S. W., Mei, W. E., Asmodewati, E., dan Widya, A. C. (2013) "Penyebaran, Proses Pembentukan, Eksplorasi, Pengolahan, Dan Pemanfaatan Batuan Dolomit", FMIPA UNM, Malang.
- Huang, N.E., Shen, Z., Long, S.R., Wu, M.C.L., Shih, H.H., Zheng, Q., Yen, N.C., Tung, C.C. dan Liu, H.H. (1998), "The Empirical Mode Decomposition and the Hilbert Spectrum for Nonlinear and Non-Stationary Time Series Analysis", *Proceedings of the Royal Society A*, Vol. 454, No. 1971, hal. 903–995.
- Huang, J.R., Fan, S.Z., Abbod, M.F. Jen, K.K., Wu, J.F. dan Shieh, J.S. (2013), "Application of Multivariate Empirical Mode Decomposition and Sample Entropy in EEG Signals via Artificial Neural Networks for Interpreting Depth of Anesthesia", *Entropy*, Vol. 15, No. 9, hal. 3325-3339.
- Jeng, Y., Lin, M.J. dan Chen, C.S. (2004), "A very low frequency-electromagnetic study of the geo-environmental hazardous areas in Taiwan", *Environmental Geology*, Vol. 46, No. 6-7, hal. 784–795.
- Kaikkonen, P. (1979), "Numerical VLF Modelling" *Geophysical Prospecting*, Vol. 27, hal. 815-834.
- Karous, M. dan Hjelt, S.E. (1983), "Linear Filtering of VLF dip-angle Measurements", *Geophysical Prospecting*, Vol. 31, No. 5, hal. 782–794.
- Kalscheuer, T., Pedersen, L.B. dan Siripunvaraporn, W. (2008), "Radio magnetotelluric Two-Dimensional Forward and Inverse Modelling Accounting for Displacement Currents", *Geophysics Journal International*, Vol. 175, No. 2, hal. 486-514.
- Kok, M.V and Smykatz-Kloss W. (2008), "Characterization, Correlation And Kinetics of Dolomite Samples As Outlined By Thermal Methods", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetri*, vol 91 (2) pp. 565-568.
- Krause, S., V. Liebetrau, S. Gorb, M. Sanchez-Roman, J.A. McKenzie, T. Treude. (2012), "Kieler Meeresforscher zeigen Einfluss von marinen Bakterien auf Mineral-Bildung", <http://www.raonline.ch/pages/edu/ur/steinesg0102.html> (Online) diakses 6 Juni 2015.
- Kwon, Y.B. dan Bang, H. (1996), *The Finite Element Method Using MATLAB*, FL : CRC Press, Boca Raton.



Madiadipoera, T. (2006), "Bahan Galian Industri di Indonesia", Pusat Sumber Daya Geologi, Departemen ESDM, Jakarta, hal.1-48.

McNeill, J. D. and Labson, V. F. (1991), "Geological mapping using VLF radio fields", dalam *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics: Volume 2, Application, Part B*, ed. Nabighian, M.N., SEG, Tulsa, hal. 521-640.

Menke, W. (1984), *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory*, Academic Press, San Diego.

Monteiro Santos, F.A., Mateus, A., Figueiras, J., Gonçalves, M.A. (2006), "Mapping Groundwater Contamination around a Landfill Facility using the VLF-EM Method—a Case Study", *Journal of Applied Geophysics*, Vol. 60, No. 2, hal. 115–125.

Nissen, J. (1986), "A versatile electromagnetic modeling program for 2-D structures", *Geophysical Prospecting*, Vol.14, 1099-1110.

Peterson, N.R. dan Ronka, V. (1971), "Five Years of Surveying With The Very Low frequency-Electromagnetic Method", *Geoexploration*, Vol. 9, page 7-26.

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara. (2005), "Data Pertambangan Mineral dan Batubara", <http://www.tekmira.esdm.go.id/data/Dolomit> (Online) diakses 6 Oktober 2014.

Rehman, N. dan Mandic, D. P. (2010), "Multivariate Empirical Mode Decomposition", *Proceedings of the Royal Society A*, 466, No. 2117, hal. 1291–1302.

Rehman, N. dan Mandic, D. P. (2011), "Filter bank Property of Multivariate Empirical Mode Decomposition", *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 59, hal. 2421–2426.

Rodi, W. dan Mackie, R.L. (2001), "Nonlinear Conjugate Gradients Algorithm for 2-D Magnetotelluric Inversion", *Geophysics*, Vol. 66, No. 1, hal. 174-187.

Sari, N., Jalil.Z., dan Rahwanto, A. (2013), "Identification of Oxide Compound in Dolomite Mineral from Aceh Tamiang Region", *Journal of Aceh Physics Society*, SS, Vol. 2, No. 1 pp. 1-2.

Siripunvaraporn, W., Egbert, G., Lenbury, Y. (2002), "Numerical Accuracy of Magnetotelluric Modeling: A Comparison of Finite Difference Approximations", *Earth Planets Space*, Vol. 54, No. 6, hal. 721-725.

Srigutomo, W., Harja, A., Sutarno, D. dan Kagiya, T. (2005), "VLF Data Analysis Through Transformation Into Resistivity Value: Application to Synthetic and Field Data", *Indonesian Journal of Physics*, Vol. 16, No. 4, hal. 127-136.



Sungkono, AS Bahri, DD Warnana, FA Monteiro Santos, BJ Santosa. (2014), "Fast, Simultaneous and Robust VLF-EM Data Denoising and Reconstruction Via Multivariate Empirical Mode Decomposition", *Computers and Geosciences*, Vol. 67, No. 1, hal. 125-138.

Sukardi. (1992), "Peta Geologi Lembar Surabaya dan Sapulu, Jawa". Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Zhdanov, M.S. (2002), *Geophysical Inverse Theory and Regularization Problems*, *Methods in Geochemistry and Geophysics*, Vol. 36, Elsevier, Amsterdam-Boston-London.



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengukuran, pengolahan data, analisis dan pembahasan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

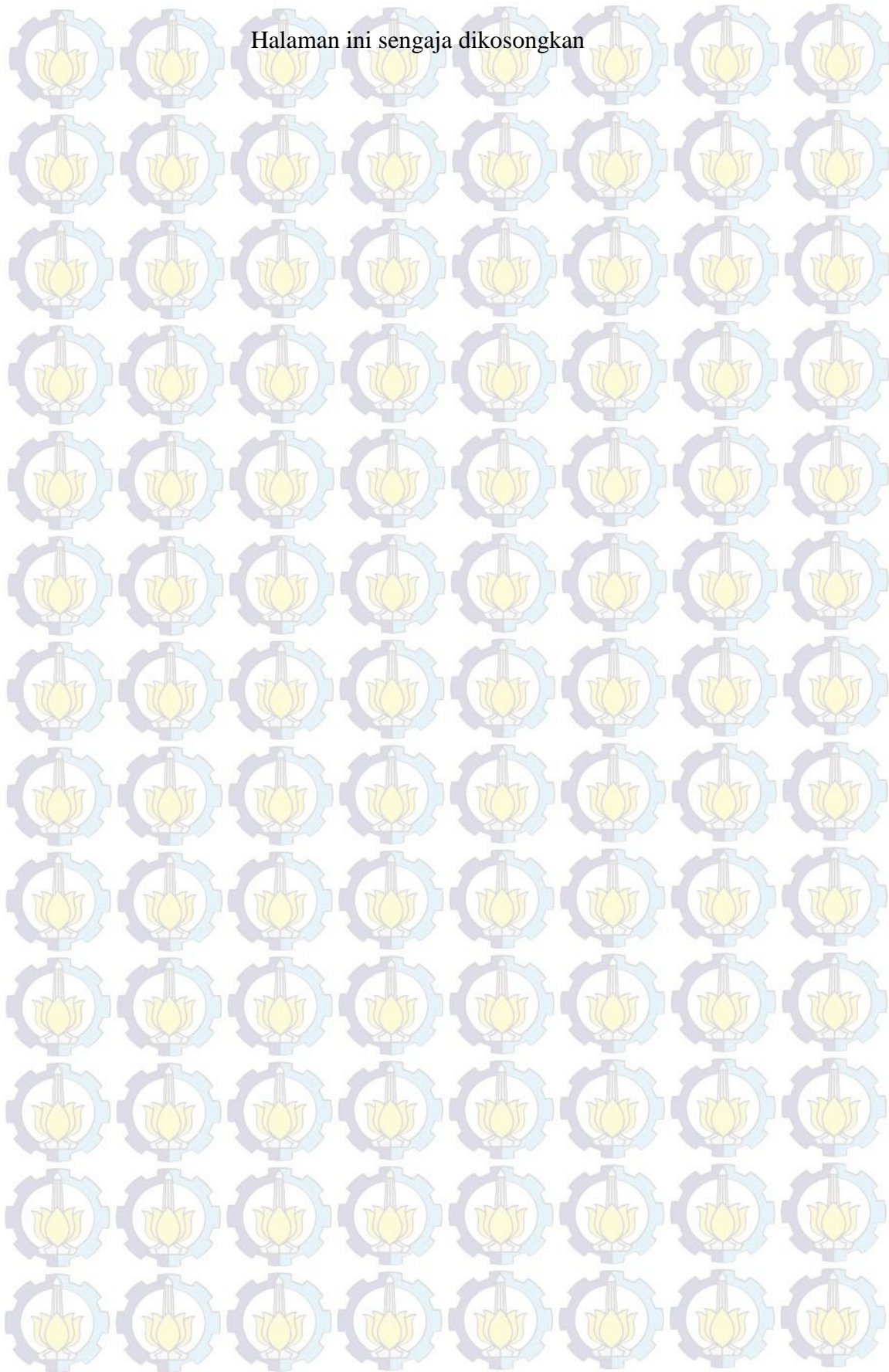
1. Interpretasi data pada lintasan 1 sampai 6 daerah penelitian menunjukkan sebaran batuan dolomit dengan nilai resistivitas 120 – 300 ohm meter terletak pada kedalaman dangkal antara 0 – 30 meter dan berikutnya pada kedalaman 50 – 70 meter.
2. Sebaran batuan dolomit di lintasan 1 pada jarak 0 - 70 meter, 250 - 400 meter, dan 540 - 550 meter, lintasan 2 pada jarak 0 - 100 meter, lintasan 3 pada jarak 0 - 50 meter dan 420 - 480 meter, lintasan 4 pada jarak 0 - 90 meter, 110 - 350 meter, 360 - 440 meter, dan 540 - 550 meter, lintasan 5 pada jarak 30 - 60 meter, 120 - 240 meter, 380 - 500 meter, dan lintasan 6 pada jarak 170 - 290 meter.
3. Validasi dengan data geolistrik resistivitas 2D pada lintasan 8 dan 14 menunjukkan kesamaan sebaran anomali resistivitas dan rapat arus ekuivalen pada posisi yang diinterpretasi sebagai batuan dolomit.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, hasil penelitian ini dapat menjadi sumber acuan untuk penelitian selanjutnya dalam penentuan sebaran batuan dolomit baik posisi maupun kedalaman di daerah penelitian. Supaya penentuan sebaran batuan dolomit di daerah penelitian menjadi lebih baik, disarankan menggunakan pemodelan 3D.



Halaman ini sengaja dikosongkan





## LAMPIRAN A : Data Pengukuran VLF

### Lampiran 1 : Data Pengukuran Lintasan 1

Nama Lintasan : Line 1 (L14A-L14B)  
 Lokasi Survei : Gua Cincin, Desa Melirang, Kec Bungah, Kab. Gresik  
 Tanggal : 23 Desember 2013/ 09.30 WIB  
 Arah Pengukuran : Utara - Selatan  
 Spasi / Frekuensi : 5 m / 19,8 kHz  
 Koordinat Lintasan : 7° 2'10.66"S 112°32'42.69"T-7°2'27.59"S 112°32'32.78"T

No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
1	0	103,6	-16,5	2,3	46,4	2	2	38,039	-10,968
2	5	107,6	-16,1	2,5	47,4	2	2	37,374	-11,036
3	10	104,3	-20,3	2,3	46,7	2	2	36,778	-11,021
4	15	92,1	-18,1	2,3	43,1	2	2	36,302	-10,922
5	20	86,9	-20,4	2,3	45,1	2	2	35,99	-10,737
6	25	86,2	-18,9	2,3	44,8	2	2	35,882	-10,472
7	30	93,8	-18,6	2,3	43,7	2	2	36,008	-10,148
8	35	100,6	-21,7	2,3	45,9	2	2	36,381	-9,791
9	40	102,2	-5,6	2,3	45,6	2	2	37,001	-9,428
10	45	115,6	-28,6	2,2	50,1	2	2	37,865	-9,082
11	50	97,2	-20,4	2,2	44,8	4	2	38,966	-8,777
12	55	108,7	-18,8	2,2	47,8	2	2	40,274	-8,532
13	60	111,6	-23,2	2,3	48,8	2	2	41,711	-8,352
14	65	110,2	-7,2	2,3	47,8	2	2	43,163	-8,233
15	70	95,7	-7,7	2,3	43,8	2	2	44,491	-8,164
16	75	110,1	-9,2	2,4	47,8	2	2	45,542	-8,123
17	80	92,5	-9,1	2,2	42,9	2	2	46,161	-8,081
18	85	107,4	-19,4	2,3	47,5	2	2	46,21	-8,003
19	90	103,0	-20,6	2,2	46,4	3	2	45,577	-7,846
20	95	97,0	-16,6	2,2	44,5	3	2	44,176	-7,571
21	100	85,6	-6,8	2,3	40,6	2	2	41,949	-7,146
22	105	105,0	-16,3	2,3	46,7	2	2	38,847	-6,551
23	110	88,2	-7,8	2,3	41,5	2	2	34,833	-5,767
24	115	105,1	-12,0	2,5	46,6	2	2	29,884	-4,781
25	120	87,4	-7,4	2,3	41,2	2	2	24,027	-3,59
26	125	87,6	-17,8	2,3	41,7	4	2	17,327	-2,201
27	130	107,0	-21,0	2,3	47,5	2	2	9,934	-0,645
28	135	106,3	-24,6	2,3	47,5	3	2	2,076	1,021
29	140	33,7	3,0	6,2	18,6	2	3	-5,993	2,731



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
30	145	20,5	3,3	5,4	11,6	3	3	-14,017	4,416
31	150	24,0	4,9	5,7	13,5	2	3	-21,739	6,009
32	155	19,8	5,5	5,8	12,2	2	3	-28,901	7,442
33	160	16,9	6,8	6,0	9,6	2	3	-35,271	8,654
34	165	30,9	6,5	5,9	17,2	2	3	-40,682	9,613
35	170	13,5	4,2	5,7	7,8	2	2	-45,045	10,307
36	175	10,7	3,7	5,7	6,0	2	2	-48,318	10,739
37	180	23,4	2,3	5,2	13,2	2	2	-50,507	10,923
38	185	19,7	0,0	5,9	11,1	3	3	-51,64	10,876
39	190	13,2	1,6	5,6	7,5	4	3	-51,782	10,624
40	195	19,5	1,3	5,5	11,0	3	2	-51,076	10,201
41	200	16,1	1,2	5,9	9,1	3	3	-49,72	9,651
42	205	14,5	0,5	5,3	8,2	4	2	-47,945	9,021
43	210	12,8	1,4	5,5	7,3	3	2	-46,007	8,367
44	215	11,1	2,3	5,7	6,3	4	2	-44,168	7,744
45	220	13,4	1,8	5,5	7,6	3	2	-42,645	7,2
46	225	12,4	2,4	5,4	7,0	2	2	-41,56	6,757
47	230	14,2	2,2	5,3	8,0	2	2	-40,978	6,417
48	235	28,2	0,9	5,1	15,7	3	2	-40,933	6,178
49	240	21,1	1,6	5,1	11,9	2	2	-41,436	6,031
50	245	25,6	-0,2	5,2	14,3	4	2	-42,461	5,968
51	250	28,4	0,7	5,5	15,8	3	2	-43,907	5,975
52	255	24,3	-2,1	4,9	13,6	3	2	-45,612	6,039
53	260	18,2	-0,3	4,7	6,5	2	2	-47,405	6,153
54	265	22,2	2,4	4,3	-12,2	2	2	-49,112	6,308
55	270	13,7	-3,8	4,1	7,8	2	2	-50,557	6,496
56	275	5,5	0,4	4,6	-2,0	2	2	-51,566	6,704
57	280	3,8	0,6	4,8	-2,4	2	2	-51,962	6,914
58	285	4,7	0,4	5,0	1,6	2	2	-51,571	7,101
59	290	5,7	1,1	5,8	2,1	2	2	-50,232	7,236
60	295	6,1	1,2	6,0	3,3	2	3	-47,806	7,286
61	300	28,2	1,3	5,8	15,7	2	3	-44,189	7,215
62	305	20,9	0,8	9,7	11,8	3	5	-39,359	6,994
63	310	26,5	0,0	7,9	14,8	2	4	-33,403	6,601
64	315	36,6	1,2	9,4	20,1	2	3	-26,481	6,022
65	320	32,3	0,1	9,3	17,9	2	3	-18,804	5,253
66	325	33,8	1,0	9,5	18,6	2	4	-10,599	4,3
67	330	70,2	3,2	2,7	53,1	3	2	-2,099	3,186
68	335	67,4	-2,0	3,2	54	3	2	6,456	1,948



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
69	340	71,4	-2,6	2,8	35,5	2	2	14,824	0,627
70	345	104,0	-10,6	2,5	46,2	2	2	22,762	-0,73
71	350	110,2	-10,8	2,3	47,9	2	2	30,029	-2,069
72	355	107,1	-8,2	2,5	47	2	2	36,387	-3,337
73	360	94,4	-6,4	2,4	43,4	2	2	41,639	-4,485
74	365	123,3	-12,3	2,4	51,1	2	2	45,727	-5,48
75	370	117,4	-10,9	2,4	49,7	2	2	48,681	-6,306
76	375	109,0	-19,1	2,3	52,6	2	2	50,564	-6,954
77	380	106,9	-10,8	2,4	47	2	2	51,454	-7,422
78	385	111,8	-11,0	2,4	48,3	2	2	51,436	-7,712
79	390	106,3	-11,5	2,5	46,9	2	2	50,603	-7,832
80	395	90,5	-8,0	2,5	42,2	2	2	49,065	-7,804
81	400	116,9	-10,4	2,4	49,6	2	2	46,967	-7,656
82	405	118,4	-8,4	2,4	49,9	2	2	44,483	-7,414
83	410	107,9	-12,0	2,3	47,7	2	2	41,797	-7,107
84	415	101,8	-13,1	2,3	45,7	2	2	39,092	-6,759
85	420	96,9	-10,0	2,4	44,2	2	2	36,538	-6,394
86	425	111,3	-10,5	2,4	48,2	2	2	34,267	-6,033
87	430	94,3	-7,5	2,4	43,4	2	2	32,338	-5,686
88	435	96,3	-8,3	2,4	44	2	2	30,774	-5,358
89	440	102,1	-12,1	2,4	45,8	2	2	29,594	-5,051
90	445	97,9	-7,1	2,3	44,4	2	2	28,815	-4,769
91	450	85,1	-10,5	2,7	40,5	2	2	28,451	-4,517
92	455	80,1	-7,7	2,4	38,8	3	2	28,515	-4,306
93	460	99,3	-10,0	2,3	44,9	2	2	29,004	-4,145
94	465	86,3	-9,4	2,4	40,9	4	2	29,887	-4,045
95	470	74,5	-6,7	2,4	36,7	2	2	31,102	-4,013
96	475	90,3	-12,6	2,2	42,9	2	2	32,577	-4,049
97	480	110,8	-4,6	2,5	47,9	2	2	34,237	-4,156
98	485	115,5	-7,7	2,3	49,2	2	2	36	-4,332
99	490	114,1	-8,1	2,4	48,8	2	2	37,787	-4,578
100	495	102,4	-5,3	2,2	45,7	2	2	39,528	-4,888
101	500	87,1	-7,9	2,4	41,1	2	2	41,18	-5,255
102	505	116,5	-8,1	2,4	49,4	2	2	42,714	-5,661
103	510	110,8	-14,0	2,4	48,2	2	2	44,11	-6,089
104	515	109,9	-11,3	2,3	47,8	2	2	45,355	-6,52
105	520	89,4	-7,6	2,3	41,9	2	2	46,436	-6,94
106	525	104,4	-16,1	2,3	46,6	2	2	47,348	-7,332
107	530	108,3	-12,0	2,2	47,4	2	2	48,094	-7,683



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
108	535	125,9	-9,2	2,3	51,6	2	2	48,675	-7,983
109	540	109,9	-7,0	2,3	47,7	2	2	49,092	-8,218
110	545	124,3	-15,6	2,3	51,4	2	2	49,343	-8,38
111	550	105,0	-7,9	2,3	46,4	2	2	49,422	-8,461



## Lampiran 2 : Data Pengukuran Lintasan 2

Nama Lintasan : Line 2 (L11A-L11B)  
 Lokasi Survei : Gua Cincin, Desa Melirang, Kec Bungah, Kab. Gresik  
 Tanggal : 24 Desember 2013/ 07.00 WIB  
 Arah Pengukuran : Utara - Selatan  
 Spasi / Frekuensi : 5 m / 19,8 kHz  
 Koordinat Lintasan : 7° 1'59.90"S 112°32'37.90"T-7°2'16.80"S 112°32'28.00"T

No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
1	0	10,8	1,2	78,4	6,1	2	6	7,188255	0,386063
2	5	20,2	1,6	77,1	11,4	4	5	8,059241	0,378311
3	10	29,7	1,2	77,1	16,5	4	5	8,990102	0,370561
4	15	25,2	1,3	76,7	14,1	2	5	9,963213	0,360038
5	20	40,7	1,6	77,1	22,1	2	4	10,95881	0,344657
6	25	26,8	1,6	76,9	15,0	5	4	11,9578	0,323361
7	30	28,4	1,3	77,0	15,8	5	4	12,94253	0,295917
8	35	27,0	1,2	76,6	14,9	2	4	13,89615	0,262443
9	40	25,4	1,4	75,4	14,2	4	5	14,80264	0,223263
10	45	36,7	0,8	76,5	20,1	2	4	15,6477	0,178945
11	50	33,3	0,7	76,3	18,4	4	4	16,41905	0,13023
12	55	44,3	1,0	76,5	23,9	2	3	17,10709	0,078167
13	60	46,3	1,0	77,0	24,8	2	3	17,70475	0,02417
14	65	33,0	0,6	77,2	18,2	2	4	18,20695	-0,02999
15	70	28,2	0,0	76,9	15,7	2	5	18,61065	-0,08237
16	75	33,3	0,3	76,2	18,4	2	4	18,91418	-0,13087
17	80	34,7	0,4	76,3	19,1	2	4	19,11684	-0,17329
18	85	22,9	0,4	76,2	12,9	2	5	19,21866	-0,20729
19	90	31,8	0,8	76,1	17,6	2	4	19,22106	-0,2302
20	95	37,7	0,9	75,5	20,6	2	4	19,12792	-0,23865
21	100	34,9	0,9	74,2	19,2	2	4	18,94688	-0,22879
22	105	32,7	1,1	73,8	18,1	2	4	18,68948	-0,19755
23	110	44,6	1,1	73,7	24,0	2	3	18,36987	-0,14302
24	115	36,8	1,1	73,6	20,2	2	4	18,00007	-0,0641
25	120	26,4	0,4	71,3	14,8	2	5	17,5891	0,039799
26	125	35,0	0,9	72,1	19,3	2	4	17,14405	0,168815
27	130	18,5	0,9	70,4	10,5	2	7	16,67112	0,322949
28	135	34,1	1,2	68,7	18,8	2	3	16,17521	0,501686
29	140	20,2	1,6	69,0	11,4	2	6	15,65836	0,702346
30	145	19,8	1,2	68,8	11,2	4	5	15,11995	0,918553
31	150	26,1	2,0	67,9	14,6	2	4	14,55858	1,14218



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
32	155	35,6	2,4	66,6	19,6	2	3	13,97324	1,364533
33	160	22,6	1,9	66,6	12,7	2	4	13,36306	1,576821
34	165	31,1	2,9	68,4	17,2	3	4	12,72719	1,77053
35	170	27,7	2,4	72,2	15,5	4	4	12,06462	1,938308
36	175	27,6	2,5	74,0	15,4	2	4	11,37593	2,075545
37	180	27,9	2,2	76,1	15,6	2	4	10,66567	2,180605
38	185	28,3	2,0	77,5	15,8	3	5	9,940322	2,252922
39	190	27,8	2,6	76,3	15,5	2	4	9,207194	2,292194
40	195	11,3	3,2	76,8	6,5	4	7	8,473806	2,298349
41	200	27,0	3,5	76,2	15,1	3	5	7,747773	2,271717
42	205	9,6	2,4	76,1	5,5	3	7	7,036696	2,213009
43	210	10,4	3,4	75,3	5,9	5	9	6,347662	2,123697
44	215	13,6	4,1	75,8	7,8	4	6	5,685716	2,007115
45	220	14,5	4,5	75,7	8,2	2	5	5,051525	1,86936
46	225	14,0	3,1	76,0	8,0	2	6	4,442222	1,717727
47	230	15,4	1,9	75,5	8,7	3	6	3,854025	1,559816
48	235	23,3	2,2	76,7	13,1	2	6	3,282729	1,403236
49	240	17,3	2,1	76,2	9,8	2	6	2,723917	1,255501
50	245	7,2	0,9	76,1	4,1	4	5	2,173288	1,123746
51	250	16,5	0,2	76,1	9,4	2	5	1,627109	1,014039
52	255	11,1	0,8	76,2	6,3	4	6	1,083259	0,930721
53	260	18,3	1,3	76,7	10,3	2	7	0,543059	0,874918
54	265	24,2	0,8	74,9	13,6	2	5	0,012079	0,844344
55	270	0,8	1,1	75,7	0,4	6	8	-0,5032	0,835481
56	275	-2,5	-0,8	73,8	-1,4	4	9	-0,99608	0,844298
57	280	-3,5	0,9	72,1	-1,9	3	9	-1,4589	0,865923
58	285	0,0	2,0	72,6	0,0	5	9	-1,88335	0,894599
59	290	6,3	2,8	73,1	3,6	4	8	-2,26115	0,924225
60	295	23,8	2,7	73,0	13,4	4	4	-2,58416	0,948751
61	300	0,0	3,1	74,7	0,0	5	9	-2,84503	0,962986
62	305	3,9	3,3	75,0	2,2	2	5	-3,03935	0,963986
63	310	-3,2	2,2	78,1	-1,8	4	9	-3,16715	0,950869
64	315	3,8	1,0	77,9	2,2	3	9	-3,22938	0,924197
65	320	12,7	-0,2	77,7	7,2	3	5	-3,22712	0,885609
66	325	-4,5	-2,5	77,4	-2,5	4	9	-3,16198	0,837307
67	330	-2,0	-1,5	74,5	-1,1	4	9	-3,03619	0,781803
68	335	17,5	5,1	71,1	9,9	2	4	-2,85406	0,72238
69	340	20,8	5,1	74,8	11,8	2	6	-2,62556	0,663976
70	345	2,6	2,8	75,7	1,5	3	6	-2,3633	0,612721



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA- MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
71	350	-19,3	-0,3	75,2	-10,9	2	7	-2,0794	0,575359
72	355	6,2	-0,8	72,6	3,5	4	9	-1,78618	0,558526
73	360	-1,7	-1,3	71,3	-0,9	4	9	-1,49819	0,567669
74	365	3,3	-1,7	70,1	1,9	4	9	-1,23345	0,605929
75	370	20,5	0,7	71,1	11,6	2	6	-1,00962	0,672283
76	375	9,4	1,1	70,5	5,2	2	3	-0,83988	0,760628
77	380	-9,1	1,4	72,3	-5,2	5	9	-0,73323	0,862269
78	385	8,7	3,1	69,3	5,0	4	6	-0,69631	0,968163
79	390	3,2	4,1	69,9	1,8	4	5	-0,73303	1,069905
80	395	10,5	2,3	71,9	5,9	5	6	-0,84385	1,159748
81	400	-1,3	1,6	70,9	-0,7	3	5	-1,02228	1,231224
82	405	20,2	1,0	72,8	2,4	2	6	-1,25557	1,279469
83	410	-5,5	0,8	71,2	-3,1	3	7	-1,52615	1,302301
84	415	12,9	0,2	69,9	7,3	3	9	-1,81218	1,298923
85	420	3,4	1,0	69,2	1,9	5	9	-2,09051	1,269245
86	425	0,1	1,1	69,9	0,1	2	9	-2,33847	1,213405
87	430	-18,8	1,9	71,2	-10,6	2	5	-2,53422	1,131632
88	435	9,4	2,8	70,1	5,3	4	9	-2,65655	1,024278
89	440	-7,0	2,4	69,4	-3,9	4	5	-2,69108	0,892621
90	445	-10,6	-0,8	70,5	-6,0	5	9	-2,64436	0,740556
91	450	5,5	0,5	69,8	3,0	2	3	-2,5291	0,572902
92	455	3,7	-0,3	69,2	2,1	4	9	-2,35825	0,394585
93	460	6,8	0,0	70,2	3,8	5	8	-2,14466	0,210559
94	465	-0,5	-1,3	69,7	-0,2	6	9	-1,90122	0,02579
95	470	-0,8	0,1	74,3	0,1	2	9	-1,64064	-0,15477
96	475	-0,2	0,0	68,0	-0,1	2	5	-1,37491	-0,32623
97	480	19,8	1,2	69,4	11,2	2	6	-1,11433	-0,4845
98	485	0,7	-0,2	75,2	1,0	2	4	-0,86478	-0,62829
99	490	3,9	-1,4	71,0	2,2	2	5	-0,62988	-0,75726
100	495	4,9	-1,0	71,8	2,8	2	5	-0,41261	-0,87121
101	500	11,4	-0,9	73,1	6,5	2	8	-0,2157	-0,96995
102	505	6,6	-0,8	74,5	3,7	4	7	-0,04179	-1,0533
103	510	-23,1	-2,5	76,1	-12,9	2	5	0,106536	-1,12106
104	515	-7,9	-0,8	75,0	-4,3	2	4	0,226714	-1,17304
105	520	-5,9	-0,4	75,7	-3,3	3	5	0,316279	-1,20906
106	525	-4,7	0,5	74,7	-2,6	2	7	0,373359	-1,22882
107	530	-11,0	0,7	75,3	-6,2	3	5	0,398119	-1,23187
108	535	1,4	0,3	75,6	0,8	6	9	0,394489	-1,21837
109	540	-6,6	-0,8	75,0	-3,7	2	5	0,368114	-1,18886



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
110	545	6,9	-1,1	74,3	3,9	5	9	0,324989	-1,14402
111	550	19,5	-0,8	75,6	11,0	5	5	0,271203	-1,08457



### Lampiran 3 : Data Pengukuran Lintasan 3

Nama Lintasan : Line 3 (L4A-L4B)  
 Lokasi Survei : Gua Cincin, Desa Melirang, Kec Bungah, Kab. Gresik  
 Tanggal : 24 Desember 2013/ 11.15 WIB  
 Arah Pengukuran : Timur - Barat  
 Spasi / Frekuensi : 5 m / 19,8 kHz  
 Koordinat Lintasan : 7° 2'3.90"S 112°32'8.36"T - 7° 2'13.61"S 112°32'25.40"T

No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
1	0	18,0	-0,4	45,0	10,2	2	4	4,168169	-0,068
2	5	-1,2	-2,2	49,9	-0,6	3	4	3,939388	0,250477
3	10	1,9	-1,0	48,1	1,0	2	5	4,141255	0,541451
4	15	-3,1	-0,2	50,7	-1,7	4	8	4,843581	0,778991
5	20	-6,2	0,4	46,9	-3,5	2	5	6,015073	0,938339
6	25	15,5	1,2	45,8	8,8	2	4	7,463355	1,002736
7	30	1,0	2,6	50,3	0,5	2	4	8,942244	0,963317
8	35	3,9	0,3	46,2	2,2	2	4	10,2017	0,81498
9	40	18,2	-0,6	47,3	10,3	2	4	11,00929	0,560275
10	45	8,6	-0,7	44,5	4,9	5	6	11,21199	0,220427
11	50	13,1	-1,2	50,2	7,5	4	5	10,78844	-0,15928
12	55	9,8	-1,8	49,0	5,6	3	5	9,817272	-0,52101
13	60	4,6	-2,1	47,4	2,6	2	4	8,466762	-0,80705
14	65	9,1	-2,4	47,3	5,2	2	5	6,97951	-0,96923
15	70	0,5	-1,6	47,6	0,3	2	4	5,629938	-0,97896
16	75	6,6	-0,3	46,8	3,8	2	6	4,647029	-0,8303
17	80	2,9	-1,2	47,3	3,6	2	4	4,148084	-0,54015
18	85	2,0	-2,0	45,7	1,1	2	4	4,161322	-0,14068
19	90	1,3	-1,0	48,0	0,7	2	5	4,63883	0,328414
20	95	12,2	0,7	49,2	0,9	2	5	5,392953	0,804746
21	100	0,0	1,6	47,6	0,0	3	5	6,21386	1,219219
22	105	5,0	1,1	47,8	2,9	2	5	6,94381	1,512028
23	110	13,0	0,6	46,0	7,4	2	4	7,524297	1,653074
24	115	12,0	-0,2	45,0	6,8	2	4	7,957813	1,647337
25	120	8,5	0,0	49,7	4,6	2	5	8,271431	1,520254
26	125	5,5	0,2	49,5	3,1	3	5	8,502207	1,305864
27	130	-2,4	0,0	47,2	-1,3	4	6	8,677841	1,037595
28	135	6,3	0,6	54,6	3,6	2	6	8,811847	0,746915
29	140	-2,4	0,5	49,3	-1,3	2	5	8,892331	0,458421
30	145	5,6	0,8	48,2	3,2	2	5	8,861664	0,189568
31	150	12,7	0,4	49,7	7,2	2	4	8,642296	-0,04466



No.	Jarak (m)	Data Lapangan				Hasil Filter NA-MEMD			
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
32	155	19,0	-1,5	47,8	9,3	2	4	8,159134	-0,23054
33	160	10,5	0,1	51,4	6,0	2	4	7,347638	-0,35535
34	165	13,6	-1,7	47,9	6,2	2	4	6,171601	-0,41101
35	170	8,2	-1,4	48,3	3,2	2	4	4,686864	-0,40563
36	175	4,2	-2,0	48,5	0,9	2	4	2,989246	-0,35304
37	180	-8,3	1,1	50,1	-4,7	5	6	1,179165	-0,26751
38	185	-13,1	2,6	49,0	-7,4	2	4	-0,64237	-0,16308
39	190	-5,5	-2,9	50,5	-3,1	2	5	-2,37555	-0,05213
40	195	-3,6	-2,0	46,9	2,0	4	6	-3,94351	0,057757
41	200	-6,8	-0,3	52,7	3,8	5	5	-5,31421	0,166927
42	205	-11,9	-0,8	47,8	6,7	5	6	-6,48015	0,275571
43	210	-4,2	0,0	51,2	-2,3	2	5	-7,43924	0,382939
44	215	-10,3	-0,4	57,3	-5,8	3	5	-8,19037	0,488186
45	220	-7,3	1,2	47,7	-4,1	2	5	-8,73609	0,590533
46	225	-3,3	0,7	49,8	-1,9	2	5	-9,08614	0,689097
47	230	-7,7	0,0	50,3	-4,4	4	6	-9,25818	0,782794
48	235	-6,5	0,9	51,1	-3,6	4	6	-9,28406	0,870609
49	240	-5,0	1,7	49,5	-2,8	4	7	-9,21193	0,952203
50	245	1,5	0,5	49,6	0,8	2	5	-9,09249	1,027869
51	250	-10,8	2,7	46,5	-6,1	2	5	-8,96137	1,097195
52	255	-17,9	1,1	48,9	-10,1	3	5	-8,83588	1,158493
53	260	-1,7	0,2	48,4	-1,0	2	4	-8,71531	1,208251
54	265	-7,1	0,6	48,6	-4,0	3	5	-8,59672	1,243179
55	270	-3,1	-0,4	49,7	-1,7	2	8	-8,48096	1,260632
56	275	-16,3	0,3	45,7	-9,2	3	5	-8,37272	1,257651
57	280	-12,2	0,0	51,6	-6,9	2	5	-8,27267	1,23062
58	285	-10,8	1,3	50,3	-6,1	3	5	-8,17453	1,17623
59	290	-10,8	1,1	49,9	-6,1	4	5	-8,06235	1,092528
60	295	-10,8	1,7	49,2	-6,1	2	5	-7,9157	0,978999
61	300	4,4	2,1	52,5	2,5	7	9	-7,71456	0,837023
62	305	5,4	2,5	53,3	3,0	4	6	-7,44511	0,670481
63	310	-8,0	1,2	47,1	-4,5	3	5	-7,10821	0,486787
64	315	-3,9	1,0	47,1	-2,2	2	5	-6,71904	0,296884
65	320	-7,1	1,2	51,1	-4,0	4	8	-6,29972	0,114527
66	325	-10,5	-0,5	51,8	-5,9	3	6	-5,87222	-0,04257
67	330	-4,5	-0,9	49,5	-2,5	3	6	-5,4627	-0,15813
68	335	-9,1	-0,7	50,7	-5,1	2	5	-5,09994	-0,22067
69	340	10,5	-0,7	49,5	6,0	3	7	-4,80655	-0,2251
70	345	-2,0	0,0	45,4	-1,1	3	4	-4,60202	-0,17581



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
71	350	-16,3	-1,6	51,5	-9,2	5	5	-4,508	-0,08437
72	355	-7,0	-1,4	48,3	-4,0	5	8	-4,54812	0,032595
73	360	-7,5	-0,3	47,0	-4,2	5	6	-4,7529	0,150662
74	365	-1,0	1,7	46,0	-0,5	3	5	-5,15124	0,241898
75	370	4,5	0,5	45,8	2,5	4	5	-5,76891	0,277297
76	375	5,3	1,1	45,5	3,0	5	6	-6,61092	0,232752
77	380	-3,4	2,3	49,1	-1,9	4	6	-7,62757	0,103175
78	385	-7,3	0,2	47,2	-4,1	2	4	-8,73113	-0,09471
79	390	-12,0	-0,1	47,7	-6,7	3	4	-9,82715	-0,33645
80	395	-14,8	-1,8	46,4	-8,4	2	4	-10,8249	-0,59498
81	400	-5,4	-1,1	44,1	-3,0	2	6	-11,6533	-0,83726
82	405	-10,3	-0,9	46,7	-5,7	2	3	-12,2559	-1,0306
83	410	-10,4	-0,7	47,1	-5,8	3	5	-12,5709	-1,14745
84	415	-4,9	-1,4	46,7	-2,7	3	5	-12,5298	-1,1643
85	420	-5,1	-0,3	48,3	-2,9	2	4	-12,0762	-1,07184
86	425	-5,3	-0,2	48,4	-3,0	4	5	-11,1808	-0,89156
87	430	-12,1	-0,4	48,5	-6,8	2	3	-9,82752	-0,65351
88	435	-8,8	0,0	48,6	-4,9	2	5	-8,01785	-0,38586
89	440	-6,6	0,1	35,6	-3,7	3	4	-5,80486	-0,11086
90	445	0,3	0,3	35,0	0,1	3	4	-3,28212	0,155318
91	450	18,7	1,3	47,2	10,6	2	7	-0,55054	0,398034
92	455	-7,2	0,8	45,8	-4,0	2	7	2,2897	0,602762
93	460	9,0	0,8	33,7	5,1	2	5	5,136191	0,756925
94	465	19,9	1,0	50,1	11,3	2	8	7,874925	0,856262
95	470	6,6	0,9	43,0	3,8	2	9	10,40082	0,904144
96	475	21,2	1,0	47,8	12,0	2	6	12,6191	0,906122
97	480	24,6	1,0	47,2	13,7	2	5	14,44389	0,868709
98	485	23,8	1,1	47,0	13,2	2	3	15,79698	0,799118
99	490	25,0	1,0	47,2	13,8	2	4	16,60398	0,704337
100	495	17,2	1,4	45,8	9,7	2	6	16,80154	0,590465
101	500	14,3	1,1	48,7	8,1	4	9	16,37607	0,460667
102	505	14,7	0,6	44,4	8,3	2	9	15,39024	0,319515
103	510	25,8	0,9	47,1	14,4	2	6	13,96887	0,17446
104	515	24,5	0,6	46,4	13,5	2	4	12,25116	0,033338
105	520	23,5	0,5	45,8	13,0	2	2	10,37866	-0,09762
106	525	-0,3	0,0	46,0	-0,1	2	5	8,506634	-0,2137
107	530	23,8	0,3	45,2	13,4	2	6	6,795179	-0,3104
108	535	7,4	0,5	44,7	4,2	2	7	5,405168	-0,3831
109	540	0,1	0,0	42,0	0,0	3	9	4,495662	-0,4271



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
110	545	7,3	0,5	48,1	4,1	3	9	4,181868	-0,43918
111	550	13,6	-1,6	45,8	7,7	2	8	4,427201	-0,42106



#### Lampiran 4 : Data Pengukuran Lintasan 4

Nama Lintasan : Line 4 (L5A-L5B)

Lokasi Survei : Gua Cincin, Desa Melirang, Kec Bungah, Kab. Gresik

Tanggal : 25 Desember 2013/ 08.00 WIB

Arah Pengukuran : Timur - Barat

Spasi / Frekuensi : 5 m / 19,8 kHz

Koordinat Lintasan : 7° 2'1.26"S 112°32'9.98"T - 7° 2'11.80"S 112°32'28.60"T

No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
1	0	-40,1	3,1	49	-21,8	2	3	0,750875	6,476769
2	5	-29,25	5,3	47,8	-16,4	2	4	0,439631	6,195482
3	10	-29,3	6,4	47	-16,3	2	3	0,189223	5,783276
4	15	-27,7	5,8	48,9	-15,4	2	4	0,005214	5,246919
5	20	-24,9	4,6	54,1	-13,9	2	4	-0,11354	4,601656
6	25	-37,6	1,9	55,7	-20,5	2	3	-0,17452	3,868919
7	30	-27	-1,4	54,4	-15	2	3	-0,1884	3,073225
8	35	-41,7	-5,1	53,4	-22,6	2	3	-0,16686	2,239996
9	40	-34,9	-5,1	52,5	-19,2	2	3	-0,1219	1,394594
10	45	-29,6	-4,8	52	-16,4	2	4	-0,06529	0,560813
11	50	-27,8	-4,6	56,2	-15,5	4	4	-0,00818	-0,24164
12	55	-28,7	-4,3	56,1	-16	3	4	0,039407	-0,99859
13	60	-25,8	-4,5	53,8	-14,4	3	4	0,069454	-1,69842
14	65	-27,7	-5,6	54,1	-16,5	4	4	0,076467	-2,33126
15	70	-28,8	-9,2	55,1	-16,1	2	4	0,056198	-2,88809
16	75	-36,2	-10,7	55	-20	2	3	0,004716	-3,36032
17	80	-35,4	-11,7	55,5	-19,6	4	4	-0,08194	-3,74043
18	85	-35	-12,3	48,1	-19,5	3	3	-0,20744	-4,02255
19	90	-5,9	-2,2	52	-3,1	2	4	-0,37438	-4,20267
20	95	-46,2	-7	51,9	-24,8	2	3	-0,58227	-4,28075
21	100	-5	-0,6	51,2	-2,6	2	3	-0,82617	-4,26147
22	105	-13,2	0,3	51,5	-2,1	2	4	-1,09546	-4,1551
23	110	-33,5	-6,4	52,3	-18,4	2	3	-1,37811	-3,97408
24	115	-31,6	-5,1	52,6	-17,5	3	3	-1,66191	-3,73116
25	120	-32,6	-4,3	50,7	-12,9	2	2	-1,93478	-3,43905
26	125	-35,1	-7,3	50,5	-19,4	2	3	-2,18454	-3,11069
27	130	-32,1	-6,5	52,1	-17,8	2	4	-2,40022	-2,75893
28	135	-36,4	-6,5	46,3	-20	2	3	-2,57622	-2,39509
29	140	-19,2	-5,7	49,9	-10,8	2	3	-2,71337	-2,02884
30	145	-16,6	-3,3	47,6	-9,4	2	3	-2,8148	-1,66971
31	150	-30,1	-4,8	50,7	-16,7	3	4	-2,88274	-1,32755



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
32	155	-29,8	-3,3	44,7	-16,5	2	3	-2,91869	-1,0123
33	160	-21,5	-4,3	48,1	-12,1	2	5	-2,92245	-0,73398
34	165	-21,7	-4	47,3	-12,2	2	4	-2,89212	-0,50248
35	170	-19	-4,3	46,2	-10,7	2	4	-2,82541	-0,32671
36	175	-15,4	-3,1	46,6	-8,7	2	5	-2,72121	-0,21235
37	180	-22,5	-2,5	49,3	-12,6	3	5	-2,58019	-0,16064
38	185	-16,5	-1,6	45,5	-9,3	2	4	-2,40287	-0,16907
39	190	-18,1	-1,8	49,1	-10,2	2	5	-2,18843	-0,23347
40	195	-22,5	-3	44,7	-12,6	3	4	-1,93516	-0,34937
41	200	-18,6	-2,2	45	-10,5	2	4	-1,64116	-0,51227
42	205	-38,8	-1,9	49,9	-21	2	3	-1,30381	-0,71776
43	210	-18,11	-2,5	50,1	-10,2	2	4	-0,92082	-0,96099
44	215	-17,5	-3,3	43,3	-9,8	2	4	-0,49554	-1,23438
45	220	-11,9	-2,3	47,1	-6,7	3	4	-0,03734	-1,52669
46	225	-15,6	-3	47,1	-8,8	2	4	0,440479	-1,82541
47	230	-23	-2,6	43,5	-12,9	2	3	0,922194	-2,11773
48	235	-3,1	-1,4	47	-1,9	2	5	1,390317	-2,39046
49	240	-2,5	-1,8	47	-1,5	2	3	1,826009	-2,63037
50	245	-24,2	-5,1	47,5	-13,6	2	4	2,209796	-2,82415
51	250	-15,8	-5,1	48,1	-8,9	2	4	2,522445	-2,9589
52	255	-7,8	-5,1	46,5	-4,4	2	5	2,744361	-3,02254
53	260	-0,4	-5,1	47,7	-0,2	4	4	2,858024	-3,00433
54	265	-10,3	-4,9	45	-5,8	2	4	2,8528	-2,89715
55	270	-0,2	-2,6	44,7	0	2	4	2,731718	-2,69881
56	275	1,3	-2,4	47,5	0,7	4	5	2,508275	-2,41032
57	280	6,9	-1	44,4	0,6	2	4	2,198475	-2,03487
58	285	-9,9	-0,4	41,7	-5,6	2	4	1,818908	-1,57746
59	290	-14,7	0	44,7	-8,3	2	4	1,386687	-1,04524
60	295	-14,9	0	42,8	-8,4	2	4	0,920195	-0,44774
61	300	-2,4	1,5	43,1	-1,3	2	4	0,440269	0,203139
62	305	4,9	1	43,5	2,8	2	4	-0,03029	0,893043
63	310	-12,9	1,1	42,9	-6,9	2	3	-0,46842	1,605151
64	315	-12,2	1,8	43,3	-0,6	2	3	-0,85138	2,321093
65	320	-1,1	1,4	45,1	-9,3	2	4	-1,15696	3,021111
66	325	-16,5	1	43,3	-10,6	2	4	-1,3636	3,684717
67	330	-18,9	1,2	42,3	-12,9	2	3	-1,45224	4,291887
68	335	-23	-1,8	46	19,8	2	3	-1,41458	4,825565
69	340	-2,6	2,6	43	-2,8	2	4	-1,26511	5,267822
70	345	-6,8	4,3	42,2	-8,7	2	4	-1,02711	5,597572



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
71	350	15,4	5,2	42,3	-2,6	2	4	-0,72509	5,793409
72	355	-4,7	5,6	42,3	-0,8	2	4	-0,38357	5,835128
73	360	-1,5	7,2	42,7	-6,3	2	5	-0,0256	5,706438
74	365	-11,1	7,7	43	0,1	2	4	0,329369	5,398627
75	370	0,2	8,3	43,3	1,9	2	4	0,664298	4,908493
76	375	3,4	8,1	46,2	11,3	2	3	0,965346	4,241909
77	380	20	6,3	44,8	-6,1	2	3	1,222264	3,418471
78	385	-10,8	5,6	46,6	8,3	2	3	1,429431	2,469512
79	390	14,6	3,4	49,5	-11,8	2	4	1,587535	1,434307
80	395	-21	-2,8	45,5	4	2	4	1,702997	0,356554
81	400	7	-3,8	44,2	5,7	2	4	1,78354	-0,71908
82	405	10	-6,6	44,2	3,1	2	4	1,836186	-1,74926
83	410	5,4	-7,3	46,6	1	2	4	1,866725	-2,6927
84	415	1,8	-9,5	45,9	-5	2	4	1,878713	-3,51205
85	420	-8,8	-9,2	47,2	-0,4	2	4	1,872246	-4,1789
86	425	-0,8	-9,7	45,1	2,9	2	6	1,845407	-4,6796
87	430	5	-9,3	42,1	2,2	2	3	1,799189	-5,01447
88	435	3,9	-7,1	40,3	-2,9	2	3	1,73552	-5,18782
89	440	-5,2	-4,7	42,3	2,8	2	4	1,656128	-5,20549
90	445	4,9	-2,7	45,1	0,6	2	3	1,561475	-5,07582
91	450	1,2	-2,3	40,4	-0,7	2	3	1,450089	-4,8101
92	455	-1,3	-3,2	41,2	1	2	4	1,316645	-4,42344
93	460	1,7	-1,6	43,4	11,6	2	4	1,15447	-3,93288
94	465	20,6	-1,9	42,3	3,6	2	4	0,957153	-3,35608
95	470	6,4	-0,2	41,7	9,7	2	3	0,720282	-2,71052
96	475	17,2	-0,1	42	1,7	2	4	0,443512	-2,01382
97	480	2,9	-0,7	44,5	0,1	2	3	0,130515	-1,28585
98	485	0,3	-3,6	46,1	3,4	2	5	-0,21248	-0,54529
99	490	5,9	-4,9	43,4	1,4	4	6	-0,57784	0,190885
100	495	-2,6	-6	43,1	-6,1	2	3	-0,95716	0,906746
101	500	-10,8	-3,9	41,5	2,8	4	5	-1,34122	1,587111
102	505	4,8	-1,7	49,9	-3,6	2	4	-1,71999	2,21777
103	510	-6,3	-0,6	38,6	-5,5	2	3	-2,08333	2,785536
104	515	-9,8	1	43,3	-3,5	2	4	-2,42144	3,278483
105	520	-6,2	0,4	42,4	-4,5	2	5	-2,72506	3,686361
106	525	-7,9	1,7	42,8	-6,2	2	4	-2,986	4,00128
107	530	-11	4,2	43,8	-4	2	4	-3,19859	4,219241
108	535	-7	5	43,2	6,8	3	5	-3,35941	4,339505
109	540	11,9	4,1	47,4	7,5	4	8	-3,46617	4,364333



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
110	545	13,2	4,6	44,6	-0,3	3	5	-3,51742	4,298899
111	550	-0,6	2,7	47,1	12,4	3	4	-3,51384	4,150028



### Lampiran 5 : Data Pengukuran Lintasan 5

Nama Lintasan : Line 5 (L6A-L6B)  
 Lokasi Survei : Gua Cincin, Desa Melirang, Kec Bungah, Kab. Gresik  
 Tanggal : 25 Desember 2013/ 08.00 WIB  
 Arah Pengukuran : Timur - Barat  
 Spasi / Frekuensi : 5 m / 19,8 kHz  
 Koordinat Lintasan : 7° 1'58.00"S 112°32'10.70"T-7° 2'7.70"S 112°32'27.70"T

No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
1	0	16,6	6,1	75,5	9,4	4	4	6,197135	7,177519
2	5	28,7	17,7	71,6	16,5	2	3	6,253751	7,222846
3	10	15,5	13,9	74,3	9,0	3	3	6,20391	7,076308
4	15	7,9	16,3	72,9	4,6	2	3	6,04292	6,731647
5	20	12,1	17,9	74,1	7,1	2	4	5,774225	6,210225
6	25	12,0	18,3	78,1	7,1	2	4	5,404883	5,541833
7	30	20,6	4,2	78,3	11,6	2	4	4,942568	4,756851
8	35	17,5	9,3	78,2	10,0	2	4	4,395036	3,885699
9	40	17,6	2,9	79,7	10,0	3	4	3,770208	2,958789
10	45	19,4	-6,3	76,1	11,3	2	4	3,076211	2,00648
11	50	12,6	16,2	88,7	7,3	2	4	2,321477	1,05894
12	55	2,4	-8,5	81,8	1,4	2	4	1,514632	0,14613
13	60	1,0	-7,3	82,7	0,5	3	5	0,664763	-0,70294
14	65	17,3	-2,9	81,1	9,8	2	4	-0,21736	-1,46288
15	70	8,5	-5,5	89,8	4,8	2	6	-1,11812	-2,11473
16	75	14,8	-6,4	84,0	8,4	2	5	-2,02184	-2,6456
17	80	1,4	-6,8	83,3	0,8	3	8	-2,91149	-3,04756
18	85	25,8	-4,6	86,8	14,5	2	4	-3,77075	-3,31581
19	90	17,8	-5,0	88,5	10,1	2	6	-4,58421	-3,44792
20	95	10,5	-0,9	82,7	6,0	2	5	-5,33696	-3,44437
21	100	-2,0	4,7	75,6	-1,1	2	4	-6,01363	-3,31014
22	105	9,0	1,5	77,9	5,0	2	3	-6,59797	-3,05678
23	110	13,4	1,5	73,4	7,0	2	3	-7,07296	-2,7008
24	115	-5,4	2,2	76,0	-3,0	2	4	-7,42229	-2,26193
25	120	-4,8	4,1	75,9	-2,7	2	4	-7,63097	-1,76189
26	125	5,0	4,7	75,2	2,8	2	4	-7,68627	-1,22385
27	130	-1,0	2,7	76,2	-0,5	2	4	-7,57749	-0,67187
28	135	-2,3	2,6	75,4	-1,2	2	4	-7,29706	-0,13094
29	140	11,4	3,5	74,4	6,5	2	4	-6,84714	0,37358
30	145	-6,2	2,0	75,8	-3,5	2	4	-6,24344	0,822556
31	150	-4,8	2,4	74,8	-2,7	3	4	-5,50863	1,203957



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
32	155	11,6	2,6	78,8	6,6	2	4	-4,66757	1,508887
33	160	-7,4	2,7	76,6	-4,1	2	3	-3,7459	1,729754
34	165	2,5	2,4	75,8	1,4	2	4	-2,76968	1,859948
35	170	28,3	3,2	78,9	15,8	2	5	-1,76514	1,893675
36	175	11,8	3,9	49,5	0,7	2	7	-0,75822	1,825725
37	180	13,0	4,0	47,3	7,4	2	9	0,22639	1,651675
38	185	18,3	1,9	48,5	10,3	2	4	1,167946	1,371025
39	190	12,1	1,1	51,1	6,9	2	6	2,052478	0,991546
40	195	16,4	0,9	45,6	9,3	2	7	2,870557	0,525949
41	200	7,8	0,4	50,4	4,4	2	7	3,614932	-0,01043
42	205	18,3	0,9	50,1	10,2	2	4	4,279799	-0,60087
43	210	20,8	0,8	49,3	11,5	2	4	4,860984	-1,2279
44	215	7,0	1,4	52,2	4,0	2	9	5,356485	-1,87375
45	220	11,7	0,7	48,4	6,6	2	5	5,766972	-2,52062
46	225	29,9	0,1	45,4	16,1	2	4	6,095097	-3,15043
47	230	17,4	0,3	48,9	9,8	2	4	6,344125	-3,74526
48	235	15,3	1,2	50,8	8,7	2	7	6,51679	-4,28767
49	240	18,7	0,0	51,8	10,5	2	6	6,615626	-4,76006
50	245	28,0	-1,0	48,4	15,6	3	5	6,643422	-5,14417
51	250	-4,8	-3,0	48,4	-2,7	2	7	6,603711	-5,42054
52	255	4,6	-4,8	46,7	2,6	3	9	6,499938	-5,56995
53	260	24,2	-5,7	52,3	8,4	4	9	6,334422	-5,57481
54	265	12,3	-5,7	52,1	7,0	2	9	6,108297	-5,4199
55	270	15,7	-6,0	52,2	9,0	3	9	5,82202	-5,09352
56	275	11,5	-4,5	54,4	6,5	3	9	5,474596	-4,59244
57	280	13,1	-5,0	51,0	7,5	3	6	5,064778	-3,92658
58	285	32,1	-4,5	53,5	17,8	2	5	4,592628	-3,11928
59	290	23,3	0,9	49,7	13,1	2	4	4,058968	-2,20039
60	295	13,4	0,9	51,7	7,6	3	5	3,464785	-1,20202
61	300	5,7	1,5	50,4	3,3	2	9	2,811304	-0,1572
62	305	-0,3	1,7	50,1	-0,1	3	9	2,099934	0,90063
63	310	10,5	5,3	58,2	6	6	9	1,332596	1,938252
64	315	8,0	8,7	56,2	4,6	5	8	0,513089	2,923659
65	320	10,9	11,5	49,1	6,3	5	6	-0,35155	3,827169
66	325	22,8	12,8	46,9	13	2	5	-1,25177	4,621355
67	330	16,9	8,4	47,3	9,6	2	4	-2,17604	5,282556
68	335	14,4	9,3	47,4	8,2	2	5	-3,11008	5,797032
69	340	4,0	9,0	48,1	2,3	3	7	-4,03583	6,163136
70	345	14,5	9,1	46,9	2,9	3	5	-4,93208	6,386656



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
71	350	-1,5	9,7	48,3	-0,8	2	5	-5,77608	6,477319
72	355	4,4	10,4	47,7	2,5	5	7	-6,54477	6,446748
73	360	0,6	8,4	43,6	0,3	4	6	-7,21525	6,307621
74	365	-10,0	6,9	47,3	-5,6	5	6	-7,76482	6,072762
75	370	4,1	6,6	42,9	2,3	4	7	-8,17193	5,754433
76	375	6,1	7,3	49,9	3,5	2	9	-8,41855	5,363315
77	380	1,2	6,1	45,3	0,7	2	9	-8,49486	4,907671
78	385	1,3	5,8	47,1	0,7	3	6	-8,40436	4,396223
79	390	-3,7	5,4	44,6	-2	2	6	-8,15994	3,840909
80	395	-6,4	4,7	43,5	-3,6	3	6	-7,7774	3,255158
81	400	-1,7	4,5	49,7	-0,9	4	8	-7,27342	2,652879
82	405	11,4	4,4	49,8	6,5	2	6	-6,66494	2,048149
83	410	5,2	4,3	45,3	3	3	5	-5,96885	1,455111
84	415	11,8	2,7	42,8	6,7	2	6	-5,20164	0,888103
85	420	14,9	2,7	47,2	8,5	3	6	-4,37857	0,360691
86	425	12,8	3,5	46,4	7,3	5	6	-3,5124	-0,11944
87	430	11,7	4,4	46,7	6,7	2	5	-2,61381	-0,55275
88	435	7,0	3,2	50,2	4	2	6	-1,69507	-0,94167
89	440	5,9	3,1	44,1	3,3	2	5	-0,76925	-1,28852
90	445	5,6	2,9	49,1	3,2	5	6	0,150385	-1,5955
91	450	13,0	4,7	45,1	7,4	3	4	1,050569	-1,86477
92	455	9,0	3,2	44	5,1	2	6	1,918446	-2,09888
93	460	4,4	2,7	43,8	2,5	2	5	2,743342	-2,30195
94	465	10,3	2,8	49,2	5,9	2	5	3,51656	-2,47845
95	470	16,3	3,9	46,7	9,2	3	5	4,23407	-2,63055
96	475	9,1	1,3	44,6	5,2	2	5	4,893297	-2,75897
97	480	13,0	0,4	47,8	7,4	4	5	5,491959	-2,86416
98	485	14,2	-0,7	47,1	8,1	4	6	6,02801	-2,94654
99	490	21,6	-1,3	46,6	12,2	2	6	6,499648	-3,00655
100	495	20,0	-2,6	49,4	11,3	5	5	6,905459	-3,04486
101	500	13,4	-0,5	47,9	7,6	2	4	7,244206	-3,06234
102	505	23,3	0,6	48,9	13,1	2	7	7,514957	-3,06
103	510	26,9	1,2	48,6	15	2	5	7,717363	-3,03933
104	515	26,3	-0,1	49,1	14,7	2	5	7,851535	-3,0025
105	520	22,4	-2,9	47,1	12,6	2	5	7,917551	-2,95093
106	525	17,5	-4,6	48,5	9,9	2	7	7,915733	-2,88502
107	530	9,7	-6,5	46,9	5,5	2	5	7,846603	-2,80477
108	535	10,8	-0,7	48,6	6,1	2	5	7,711109	-2,71033
109	540	15,5	5,1	51,2	8,8	2	4	7,510687	-2,60201



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
110	545	20,7	9,1	47,3	11,7	2	4	7,247857	-2,48039
111	550	23,9	10,7	45,9	13,5	2	4	6,925415	-2,34615



# **Lampiran 6 : Data Pengukuran Lintasan 6**

Nama Lintasan : Line 6 (L8A-L8B)  
 Lokasi Survei :Gua Cincin, Desa Melirang, Kec Bungah, Kab. Gresik  
 Tanggal : 26 Desember 2013/ 09.30 WIB  
 Arah Pengukuran : Timur - Barat  
 Spasi / Frekuensi : 5 m / 19,8 kHz  
 Koordinat Lintasan :7° 1'53.20"S 112°32'14.90"T-7°2'13.61"S 112°32'25.40"T

No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
1	0	22,7	2,9	44,6	12,8	2	5	12,19905	0,061638
2	5	38,0	4,1	43,2	17,4	2	2	12,38247	0,119064
3	10	27,9	4,5	42,3	15,6	2	5	12,43721	0,114813
4	15	35,8	5,4	44,9	19,7	2	4	12,36381	0,044185
5	20	36,3	4,3	42,9	16,4	2	4	12,16711	-0,09101
6	25	30,8	4,4	43,0	13,9	2	4	11,85489	-0,2837
7	30	29,8	5,0	41,5	16,6	2	3	11,43582	-0,52354
8	35	11,1	4,2	42,2	6,3	3	8	10,91875	-0,79878
9	40	26,4	3,8	43,8	14,8	2	6	10,31247	-1,09664
10	45	26,4	4,6	44,0	14,8	2	6	9,624803	-1,40281
11	50	21,9	4,6	43,2	12,3	2	9	8,862959	-1,70213
12	55	20,5	4,6	42,7	11,6	2	7	8,033874	-1,97922
13	60	15,8	5,0	44,2	9,0	3	9	7,143562	-2,21826
14	65	20,9	5,0	42,4	11,8	3	8	6,195626	-2,40258
15	70	17,3	4,6	43,4	9,7	2	4	5,191799	-2,51599
16	75	7,7	4,2	43,0	4,4	2	7	4,133784	-2,54439
17	80	0,8	4,0	43,6	0,5	3	9	3,023756	-2,476
18	85	16,3	4,2	43,8	9,2	2	7	1,865857	-2,30186
19	90	15,4	3,8	44,4	8,7	2	5	0,66525	-2,01534
20	95	16,9	2,5	43,9	9,6	3	7	-0,57278	-1,6131
21	100	18,9	3,8	44,7	10,7	2	9	-1,84227	-1,09706
22	105	17,2	4,2	47,1	9,8	2	9	-3,13426	-0,47765
23	110	20,0	4,0	39,2	11,3	4	9	-4,43313	0,223395
24	115	10,0	4,9	44,4	5,7	4	9	-5,72045	0,981093
25	120	1,9	3,3	42,3	1,6	5	7	-6,97586	1,769156
26	125	-10,8	3,1	43,9	-6,1	7	9	-8,17781	2,56064
27	130	-4,1	3,0	44,1	-2,3	3	8	-9,30252	3,326727
28	135	10,4	3,8	45,7	5,9	2	9	-10,3229	4,036417
29	140	3,0	5,2	41,4	1,7	2	7	-11,2122	4,65882
30	145	-3,0	15,8	43,1	-1,6	4	6	-11,9456	5,16463
31	150	-6,4	3,7	41,5	-3,6	2	4	-12,5025	5,527429



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
32	155	-3,1	21,7	42,0	-1,7	2	5	-12,8635	5,722185
33	160	-3,5	21,3	42,1	-1,9	2	7	-13,0114	5,726426
34	165	-1,3	20,7	42,1	-0,7	2	5	-12,9375	5,531292
35	170	3,0	3,6	39,5	1,7	2	4	-12,6487	5,151842
36	175	-0,1	2,6	42,2	0,0	2	8	-12,1597	4,613785
37	180	-10,8	1,8	41,3	-6,1	2	5	-11,4881	3,946359
38	185	12,3	2,9	45,7	7,0	2	9	-10,6541	3,181185
39	190	7,5	2,8	41,2	43,3	2	9	-9,67915	2,351126
40	195	-8,4	2,3	44,8	-4,7	2	7	-8,58483	1,488747
41	200	-1,8	2,2	43,1	4,5	2	5	-7,39378	0,62521
42	205	-0,8	2,0	43,0	5,1	2	5	-6,12971	-0,21181
43	210	0,8	1,8	43,7	0,4	2	9	-4,81698	-1,00146
44	215	3,8	1,6	43,5	2,1	2	5	-3,48004	-1,72787
45	220	19,6	1,3	45,5	11,1	2	4	-2,14415	-2,37799
46	225	18,5	1,2	46,1	10,5	2	9	-0,83535	-2,94058
47	230	12,6	0,9	43,3	7,1	2	9	0,419999	-3,40626
48	235	25,8	0,4	45,3	14,5	2	8	1,596186	-3,76838
49	240	-4,2	-0,4	43,8	-2,4	2	9	2,668848	-4,02368
50	245	18,8	-0,5	45,9	10,6	2	9	3,615374	-4,17402
51	250	7,4	-1,2	45,4	4,2	2	9	4,41468	-4,22543
52	255	2,0	-0,5	47,9	1,1	2	9	5,0485	-4,18663
53	260	-3,6	-1,2	44,8	-2,0	2	5	5,503778	-4,06595
54	265	14,5	-1,7	43,8	8,2	2	9	5,775848	-3,8723
55	270	17,2	-1,7	46,2	9,8	2	6	5,866436	-3,61554
56	275	19,0	-1,1	43,5	10,6	2	4	5,779987	-3,30555
57	280	5,2	-1,2	40,1	3,0	2	5	5,52328	-2,95194
58	285	24,4	-0,2	43,2	13,6	2	3	5,106576	-2,5652
59	290	22,9	0,2	40,5	12,9	2	7	4,55008	-2,15872
60	295	25,7	1,2	42,9	14,4	2	6	3,884702	-1,7454
61	300	22,7	2,1	43,5	12,8	2	7	3,146454	-1,335
62	305	10,7	1,2	44,7	6,1	2	8	2,372773	-0,93599
63	310	16,1	1,4	41,3	9,2	2	8	1,601771	-0,55656
64	315	-3,0	1,0	42,9	-1,7	2	7	0,8717	-0,20478
65	320	-7,4	0,8	44,1	-4,2	2	6	0,220577	0,111223
66	325	-1,5	3,6	44,1	-0,9	2	6	-0,31473	0,383162
67	330	-9,2	-0,6	43,3	-5,2	2	6	-0,70685	0,603377
68	335	0,7	4,1	46,1	0,4	2	4	-0,95681	0,766782
69	340	6,5	4,5	46,2	3,6	2	6	-1,07789	0,870943
70	345	21,3	2,6	46,4	12	2	7	-1,08544	0,914163



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
71	350	7,7	3,1	52,1	4,4	2	9	-0,99613	0,895473
72	355	14,9	5,6	45,9	8,4	2	5	-0,8277	0,814747
73	360	18,0	2,7	44,3	10,2	2	7	-0,5994	0,673627
74	365	4,8	2,5	41,6	2,7	2	4	-0,33384	0,480064
75	370	-3,2	2,2	43,5	-1,7	2	6	-0,05619	0,248876
76	375	0,9	1,6	44,6	0,5	2	5	0,207729	-0,00249
77	380	4,1	1,5	44,9	2,3	2	7	0,433194	-0,25626
78	385	-2,7	1,3	46,3	-1,5	2	7	0,601107	-0,49545
79	390	-5,6	0,4	45,3	-3,2	2	6	0,704027	-0,70534
80	395	17,8	0,3	43,6	10,1	2	6	0,746971	-0,87467
81	400	17,3	0,2	45,1	9,8	2	4	0,742715	-0,99518
82	405	19,4	0,6	45,6	11	2	7	0,708816	-1,06172
83	410	-14,1	0,1	44,1	-7,9	2	3	0,663879	-1,07123
84	415	1,4	0,0	46,7	0,8	3	5	0,621919	-1,02441
85	420	2,0	1,1	49,1	1,1	3	8	0,589876	-0,92765
86	425	13,9	1,3	45,3	7,9	2	4	0,570919	-0,79118
87	430	11,8	1,5	51,2	0,7	2	8	0,566683	-0,62617
88	435	0,0	1,0	47,3	0	3	9	0,577182	-0,44383
89	440	17,2	1,7	46,7	9,7	2	7	0,601429	-0,25531
90	445	-1,9	1,8	49,8	-1	2	9	0,638118	-0,07155
91	450	-1,0	2,1	75,3	-0,5	2	5	0,68392	0,098622
92	455	-14,2	2,2	74,1	-8	2	3	0,73067	0,251216
93	460	7,9	2,0	77,5	4,5	2	5	0,769227	0,384485
94	465	8,5	1,4	44,8	4,8	2	6	0,790663	0,497509
95	470	21,5	1,1	49,5	12,1	2	4	0,78646	0,5895
96	475	-0,1	1,6	46,3	0	2	6	0,749103	0,659624
97	480	19,6	0,1	48,3	11	2	4	0,672073	0,707044
98	485	0,6	1,0	46,7	0	4	6	0,551261	0,731368
99	490	17,0	1,2	46,4	9,7	3	8	0,38937	0,734054
100	495	3,4	1,9	50,7	18,7	2	4	0,195876	0,718564
101	500	2,9	2,3	50,1	1,6	5	9	-0,0172	0,6889
102	505	2,1	2,2	49,2	1,2	2	9	-0,2372	0,649117
103	510	7,5	2,0	50,6	4,3	3	9	-0,45118	0,603257
104	515	-12,0	2,5	51,7	-6,8	2	6	-0,64623	0,555366
105	520	-2,4	1,7	49,4	-1,3	3	9	-0,80974	0,50951
106	525	5,8	1,9	50,6	3,3	4	9	-0,92946	0,469703
107	530	-4,7	2,2	50,6	-2,6	3	6	-0,99436	0,439695
108	535	-6,0	2,3	49,2	-3,4	4	9	-0,99796	0,421588
109	540	-7,7	1,6	46,8	-4,3	2	7	-0,94184	0,414597



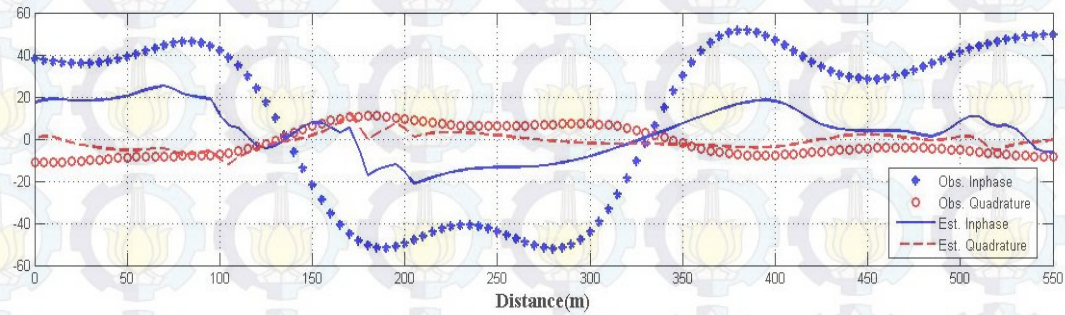
No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
110	545	2,3	2,1	3,6	1,3	2	9	-0,83069	0,417039
111	550	5,8	1,8	47,6	3,3	2	6	-0,67069	0,427154



## LAMPIRAN B : Hasil inversi data VLF-EM

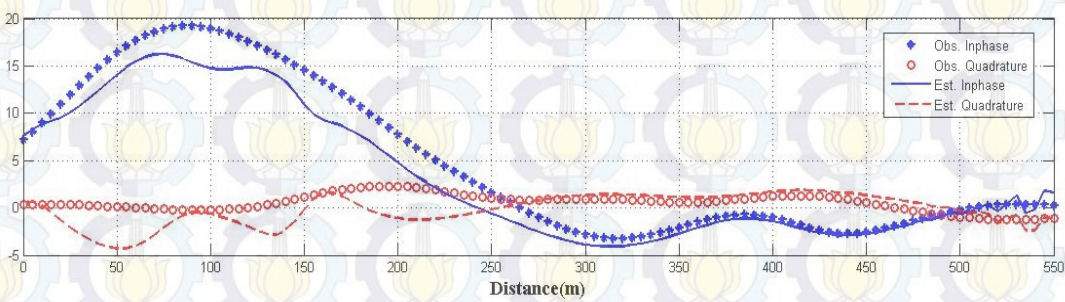
### Lintasan 1

n° iterations,final rms 7 7.328349



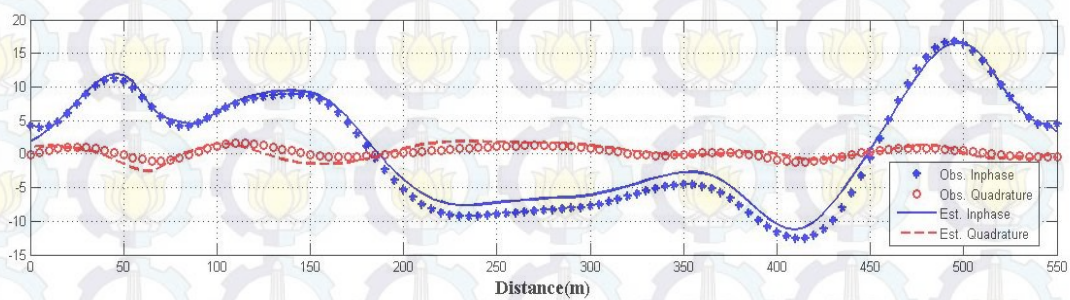
### Lintasan 2

n° iterations,final rms 50 0.6318076



### Lintasan 3

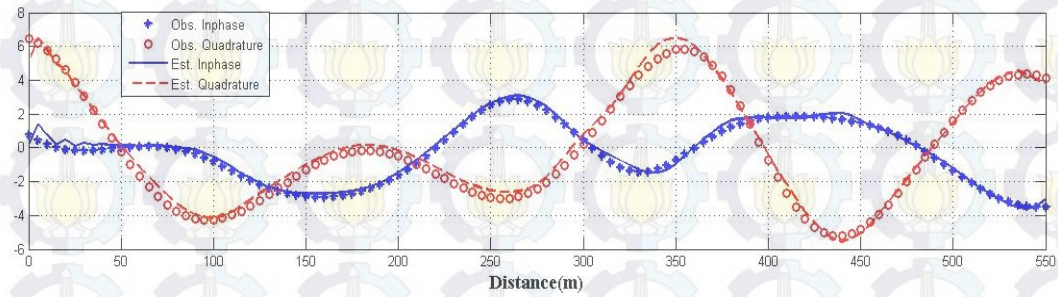
n° iterations,final rms 50 0.3440004





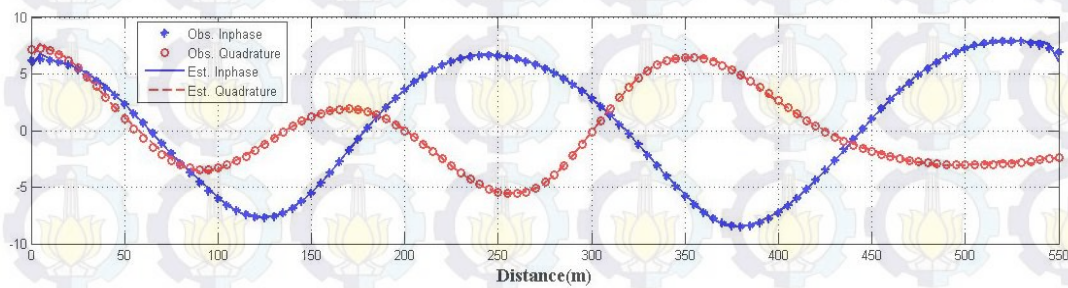
Lintasan 4

n° iterations,final rms 15 0.1043624



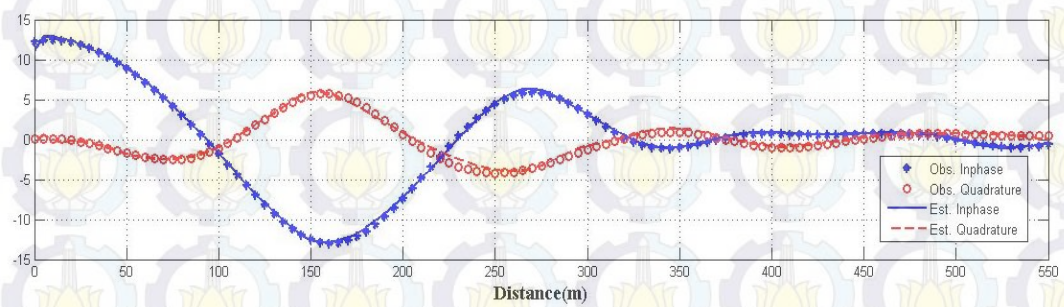
Lintasan 5

n° iterations,final rms 50 4.3887246E-02



Lintasan 6

n° iterations,final rms 50 9.1863446E-02





**LAMPIRAN C: Foto-Foto Penelitian Batuan Dolomit di Desa Melirang,  
Kecamatan Bungah, Kabupaten Gresik**



**Goa yang terbentuk karena penggalian  
dolomit**



**Persiapan alat dan penentuan lintasan  
penelitian dolomit**



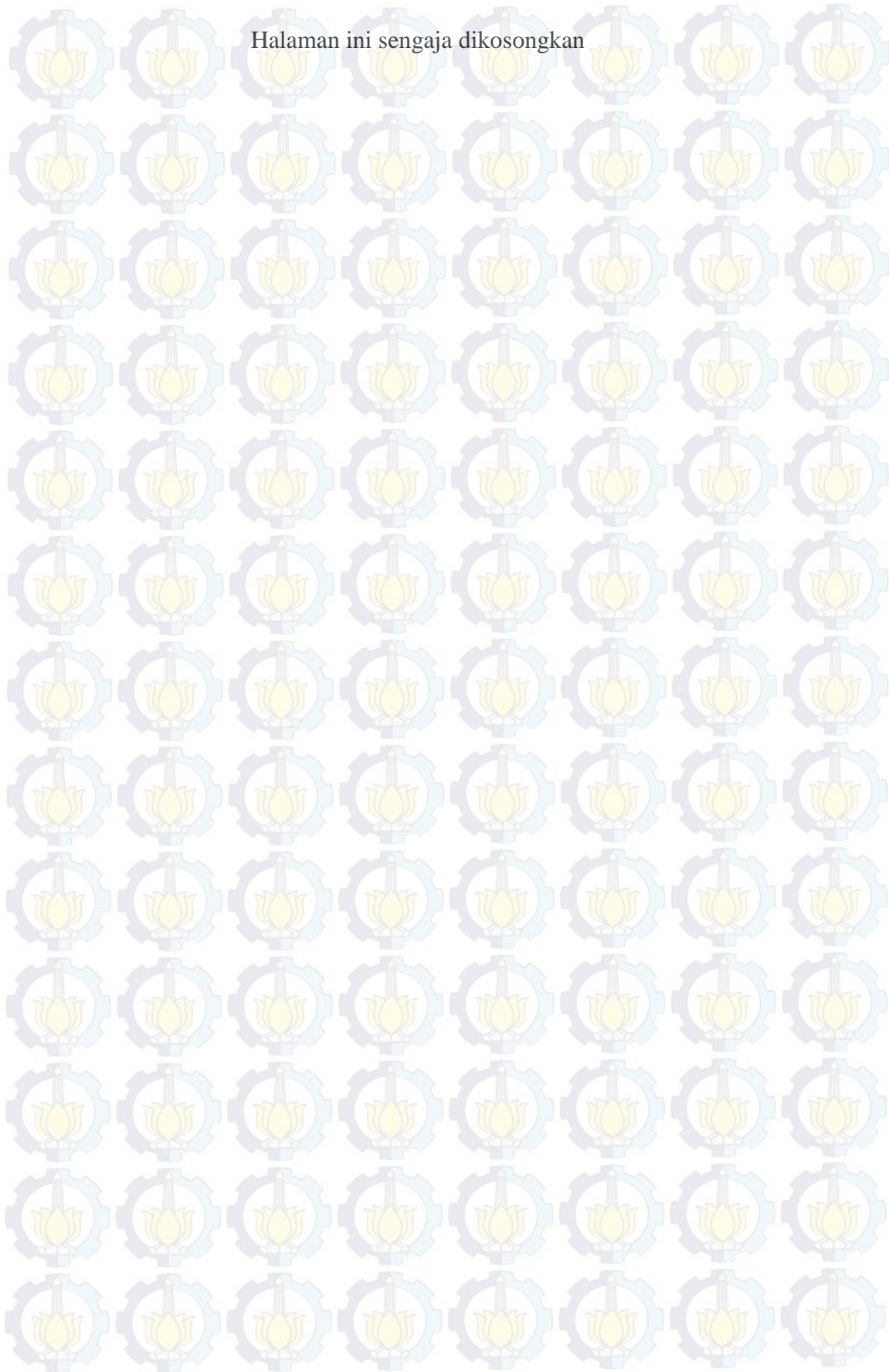
**Salah satu lintasan penelitian dolomit**



**Pencatatan data VLF-EM**



Halaman ini sengaja dikosongkan





550 meter, lintasan 5 pada jarak 30 - 60 meter, 120 - 240 meter, 380 - 500 meter, dan lintasan 6 pada jarak 170 - 290 meter. Hasil penelitian ini juga divalidasi dengan menggunakan data geolistrik resistivitas 2D, dimana dolomit mempunyai resistivitas sebesar 240 – 5019 ohm meter.

**Kata Kunci:** *VLF-EM, batuan dolomit, filter NA-MEMD, filter Fraser, filter Karous-Hjelt, inversi, Desa Melirang Kec. Bungah Kab. Gresik.*



# **APPLICATION OF VERY LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC (VLF-EM) METHOD FOR CHARACTERIZATION OF SUBSURFACE IN LIMESTONE AREAS MELIRANG VILLAGE OF THE BUNGAH REGION AT GRESIK**

Name : Eko Hadi Purwanto  
Student Identity Number : 1113201036  
Supervisor : 1. Dr. rer. nat. Eko Minarto, S.Si, M.Si  
2. Dr. Ayi Syaeful Bahri, M.T

## **ABSTRACT**

Very Low Frequency Electromagnetic (VLF-EM) method is a geophysical method that is fast and ecological. This method is category of passive methods, where in the source of electromagnetic wave interference is not raised itself but from a very distance source. This method uses radio waves at very low frequencies (15-30 kHz). Commonly used in submarine navigation systems. Frequency range VLF-EM method allows sufficient penetration depth in exploration of the dolomite in the limestone area. For this reason, VLF-EM method will be used in this study with objective to characterize the subsurface and determine the distributions of dolomite in limestone area, in Melirang Village, Distric of Bungah, Gresik.

Field data collection is conducted on six tracks with each length of 550 meters, with 5 meters spasing and inter track measurement distance are 100, 200, and 300 meters. Field data measured by VLF-EM, the data consisting of inphase, quadrature, tilt-angle, dan total field. Data processing use computational language MATLAB 2010a, and Inv2DVLF (Bahri, 2008) used to characterize the distribution of dolomite in research area. Interpretation data was conducted qualitatively and quantitatively by using a filter Fraser, Karous-Hjelt, and Inv2DVLF.

Results state that fraser Filter and Karous-Hjelt has positive value for data; inphase, total field, and the tilt angle, and negative value for quadrature data. Interpretation of qualitative and quantitative data showing that dolomite spread in between 0-30 meters and 50-70 meters depth with a value equivalent current density between 120-300 ohm meters. Distribution of dolomite rock on the first track are in distance of 0-70 meters, 250-400 meters and 540-550 meters. 2nd track in distance 0-100 meters, 3rd track is in distance of 0-50 meters and 420-480



meters, 4th track is in distance of 0-90 meters, 110-350 meters, 360-440 meters, and 540-550 meters in the 5th track distance of 30-60 meters, 120-250 meters, 380-500 meters, and the 6th track is in distance of 170-290 meters. The results of this study also calibrated by 2D resistivity data, that dolomite rock resistivity values between 240-5019 ohm meters.

**Key words:** *VLF-EM, dolomite rock, NA-MEMD filter, Fraser filter, Karous-Hjelt filter, inversion, Melirang Village District of Bungah Gresik.*



## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah, Tuhan alam semesta yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tesis dengan judul “Aplikasi Metode *Very Low Frequency Electromagnetic* (VLF-EM) untuk Karakterisasi Bawah Permukaan di Daerah Kapur Desa Melirang Kecamatan Bungah Kabupaten Gresik”.

Tesis ini merupakan hasil penelitian sebagai salah satu syarat untuk menempuh gelar Magister Sains (M.Si) pada Program Studi Magister Bidang Keahlian Geofisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis menyadari bahwa selesainya penulisan tesis ini dengan lancar karena rahmat dan hidayahNya serta bantuan dari berbagai pihak. Dengan rasa syukur penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu, Bapak, Istri tercinta Risha, Ibu mertua, Bapak mertua banyak memberikan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan penulisan tesis ini.
2. Dr.Yono Hadi Pramono, M.Eng selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA ITS, terimakasih atas bantuan yang diberikan.
3. Dr. rer. nat. Eko Minarto, S.Si, M.Si dan Dr. Ayi Syaeful Bahri, M.T, selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan penulisan tesis ini.
4. *Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya S, SU dan Dr. rer. nat. Bintoro Anang S, M.Si*, selaku penguji yang memberikan masukan dalam menyelesaikan penulisan tesis ini.
5. Teman-teman Dosen Universitas Abdurachman Shaleh Situbondo yang selalu memberikan motivasi dan bantuan dalam menyelesaikan penulisan tesis ini.
6. Tim geofisika ITS yaitu Bapak Kiswanto, Sungkono, Wahyu, Ari, Juan, dan Yusron yang telah membantu penelitian.
7. Sahabatku PRAS2-S2 Saintek 2012 dan Pascasarjana 2013 Jurusan Fisika FMIPA ITS yang selalu kompak.



Penulis menyadari bahwa penulisan tesis ini masih terdapat kekurangan, maka dari itu saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan untuk penelitian selanjutnya.

Surabaya, Juni 2015

Penulis



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Dolomit.....	5
2.2 Metode <i>Very Low Frequency Electromagnetic</i> (VLF-EM).....	10
2.3 Filter MEMD .....	15
2.4 Filter NA-MEMD .....	17
2.5 Filter Fraser.....	18
2.6 Filter Karous-Hjelt.....	19
2.7 <i>Forward Modelling</i> dan Inversi.....	21
2.8 <i>Finite element Method</i> (FEM) .....	23
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1 Rancangan Penelitian.....	27
3.2 Perangkat Penelitian.....	27
3.3 Lokasi Penelitian.....	28
3.4 Akuisisi Data.....	30



3.5 Pengolahan, Interpretasi, dan Analisis Data .....	30
BAB 4. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN .....	31
4.1 Uji Filter NA–MEMD pada Data Sintetik .....	31
4.2 Analisis dan Pengolahan Data Lapangan .....	34
4.3 Interpretasi Data .....	43
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....	45
5.1 Kesimpulan .....	45
5.2 Saran .....	45
DAFTAR PUSTAKA .....	47
LAMPIRAN .....	51
BIOGRAFI PENULIS .....	79



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1</b> Koefisien filter $K_{i0}^{-1}$ untuk beberapa nilai $n$ .....	20
--	----



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Dolomit .....	6
<b>Gambar 2.2</b> Peta Geologi Kabupaten Gresik .....	8
<b>Gambar 2.3</b> Keterangan Peta Geologi Kabupaten Gresik .....	9
<b>Gambar 2.4</b> Distribusi medan elektromagnetik untuk metode VLF-EM dalam polarisasi listrik dengan sinyal diatas sebuah dike konduktif vertikal .....	11
<b>Gambar 2.5</b> Diagram vektor antara medan primer P dan ggl induksinya.....	12
<b>Gambar 2.6</b> Polarisasi ellips akibat kehadiran benda konduktif pada bidang medan elektromagnetik.....	13
<b>Gambar 2.7</b> Kontur fraser VLF-EM a) data lapangan ( <i>inphase</i> ), b) data lapangan yang difilter fraser .....	19
<b>Gambar 2.8</b> Hasil pengolahan data dengan menggunakan filter Karous- Hjelt: (a) <i>inphase</i> dan (b) <i>quadrature</i> .....	20
<b>Gambar 2.9</b> Perbandingan <i>forward modelling</i> dan inversi.....	21
<b>Gambar 2.10</b> <i>Grid</i> untuk menganalisis $E_x$ dengan menggunakan metode FEM .....	24
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alir rancangan penelitian.....	27
<b>Gambar 3.2</b> Alat-alat penelitian.....	28
<b>Gambar 3.3</b> Peta Desa Melirang Kecamatan Bungah Kabupaten Gresik.....	29
<b>Gambar 3.4</b> Peta lintasan pengukuran VLF-EM.....	29
<b>Gambar 4.1</b> Model sintetik dengan satu benda konduktif.....	32
<b>Gambar 4.2</b> Sinyal data sintetik ditambahkan <i>noise</i> dengan SNR sebesar 17dB .....	32
<b>Gambar 4.3</b> Model Hasil dekomposisi sinyal data sintetik yang ditambahkan noise dengan menggunakan NA-MEMD (a) <i>Inphase</i> (b) <i>Quadrature</i> . $C_1$ sampai $C_4$ merupakan imf, sedangkan $C_5$ adalah <i>residue</i> .....	33



<b>Gambar 4.4</b> Model Hasil <i>filtering</i> menggunakan NA-MEMD terhadap data yang ditambahkan noise .....	34
<b>Gambar 4.5</b> Gambar hasil <i>filter</i> Karous Hjelt (a) <i>Inphase</i> dan (b) <i>Quadrature</i> dari hasil <i>filter</i> NA-MEMD pada lintasan 1 .....	35
<b>Gambar 4.6</b> Gambar hasil <i>filter</i> Karous Hjelt (a) <i>Inphase</i> dan (b) <i>Quadrature</i> dari hasil <i>filter</i> NA-MEMD pada lintasan 2 .....	36
<b>Gambar 4.7</b> Gambar hasil <i>filter</i> Karous Hjelt (a) <i>Inphase</i> dan (b) <i>Quadrature</i> dari hasil <i>filter</i> NA-MEMD pada lintasan 3 .....	37
<b>Gambar 4.8</b> Gambar hasil <i>filter</i> Karous Hjelt (a) <i>Inphase</i> dan (b) <i>Quadrature</i> dari hasil <i>filter</i> NA-MEMD pada lintasan 4 .....	37
<b>Gambar 4.9</b> Gambar hasil <i>filter</i> Karous Hjelt (a) <i>Inphase</i> dan (b) <i>Quadrature</i> dari hasil <i>filter</i> NA-MEMD pada lintasan 5 .....	38
<b>Gambar 4.10</b> Gambar hasil <i>filter</i> Karous Hjelt (a) <i>Inphase</i> dan (b) <i>Quadrature</i> dari hasil <i>filter</i> NA-MEMD pada lintasan 6 .....	38
<b>Gambar 4.11</b> Hasil inversi data lapangan (a) lintasan 1, (b) lintasan 2, (c) lintasan 3, (d) lintasan 4, (e) lintasan 5, dan (f) lintasan 6 .....	40
<b>Gambar 4.12</b> Penampang 2D metode geolistrik (a) lintasan 2 dan (b) lintasan 3 .....	42
<b>Gambar 4.13</b> Gabungan jalur sebaran batuan dolomit lintasan 1 dan 2 sebarannya mengarah selatan, sedangkan lintasan 3 sampai 6 sebarannya mengarah ke tenggara, dan barat daya .....	43



## BIOGRAFI PENULIS



Eko Hadi Purwanto, lahir di Jember pada tanggal 10 Januari 1986, merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan Hadi Suprpto dan S. Purwati. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN 05 Desa Gunungsari, SMPN 1 Desa Gunungsari, SMAN 1 Kencong Kabupaten Jember, S1 Pendidikan Guru Sekolah Dasar (PGSD) Unej angkatan 2004 dan S2 Fisika ITS angkatan 2013 dengan NRP 1113201036.

Di Jurusan Fisika ini, penulis mengambil bidang minat geofisika. Selama menjadi mahasiswa S2 Fisika ITS, penulis mengikuti publikasi artikel ilmiah dalam seminar “Peran Pendidikan dan Penelitian Fisika untuk Mewujudkan Masyarakat yang Bermartabat” di Yogyakarta. Akhir kata apabila ada kritik dan saran, dapat dikirimkan ke: [echo\\_dosenunars@yahoo.co.id](mailto:echo_dosenunars@yahoo.co.id).



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Bahan galian industri tersebar di seluruh pelosok Indonesia, akan tetapi peranan bahan galian industri ini sering tidak disadari oleh masyarakat di sekitarnya. Salah satu bahan galian yang penting dan banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari adalah mineral berbasis karbonat, yang umumnya terdapat dalam bentuk batuan kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomit [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ], maupun magnesit ( $\text{MgCO}_3$ ).

Keberadaan mineral ini, terutama dolomit dan kalsit, masih sangat berlimpah di Indonesia mulai dari propinsi di Aceh hingga ke Papua dengan spesifikasi yang berbeda. Jumlah cadangan total bahan tersebut sekitar 1.600.000 ton (Madiadipoera, 2006). Mineral tersebut hanya memberikan manfaat ekonomi yang minim dan dirasakan kurang dapat meningkatkan taraf hidup masyarakat disekitar daerah penghasil mineral tersebut. Sebagai contoh, dolomit di daerah Gresik digunakan sebagai bata bangunan, bahan tahan api, dan pupuk. Selain itu, dolomit juga dapat diolah menjadi kalsium dan magnesium oksida melalui proses kalsinasi. Kalsium dan magnesium oksida ini dapat digunakan dalam berbagai industri seperti untuk bahan pengisi dalam industri kertas dan plastik, bahan perekat (*adhesive*), bahan farmasi, dan lain sebagainya, yang akan mempunyai nilai jual yang lebih tinggi. Akan tetapi pengolahan batuan dolomit oleh sebagian besar industri rakyat sampai saat ini masih menggunakan cara kalsinasi yang dilakukan berdasarkan kebiasaan dan pengalaman semata, sehingga hasil yang diperoleh belum optimal. Untuk mendapatkan hasil yang optimal perlu dipelajari karakteristik proses kalsinasi tersebut (Sari *et al.*, 2013).

Dari beberapa studi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kandungan mineral yang dominan dalam batuan dolomit adalah  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  (Febriana, 2011), identifikasi mineral yang terdapat di dalam batuan dolomit dan proses pembentukan senyawa oksida melalui teknik kalsinasi, agar diketahui karakteristik proses dekomposisinya (Sari *et al.*, 2013). Sejumlah peneliti telah



memperlihatkan penentuan temperatur dekomposisi dolomit dimana terdapat dua titik endotermis; area pertama pada rentang temperatur antara 690 °C - 810 °C yang berkaitan dengan pembentukan MgO dan CaCO<sub>3</sub>, area kedua pada rentang temperatur antara 810 °C - 920 °C yang berkaitan dengan dekomposisi CaCO<sub>3</sub> menjadi CaO (Kok *et al.*, 2008).

Meningkatnya perkembangan teknologi yang ada, maka sebagai pijakan awal perlu diketahui karakterisasi batuan dolomit [CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] ini secara lebih mendalam. Hal ini sangat diperlukan sebagai informasi awal pengembangan batuan dolomit [CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] ke arah yang lebih luas lagi. Untuk menjawab kebutuhan tersebut, maka penelitian ini ditujukan untuk mengetahui informasi yang lebih mendalam mengenai karakterisasi bawah permukaan di daerah kapur. Metode geofisika yang merupakan metode tidak langsung dapat diaplikasikan dalam pencarian sebaran batuan dolomit di daerah kapur. Salah satu metode dalam eksplorasi geofisika yang umumnya digunakan untuk pencarian bahan-bahan yang memiliki sifat konduktif yang tinggi adalah metode VLF-EM (*Very Low Frequency-Electromagnetic*) (Gufron, 2010).

Metode *Very Low Frequency-Electromagnetic* (VLF-EM) merupakan salah satu metode geofisika yang cepat dan ramah lingkungan. Metode ini termasuk dalam kategori metode pasif, dimana sumber gangguan gelombang elektromagnetik tidak dibangkitkan sendiri melainkan berasal dari sumber yang sangat jauh. Metode ini menggunakan gelombang radio dengan frekuensi yang sangat rendah (15-30 kHz), yang biasanya dipergunakan dalam sistem navigasi kapal selam. Rentang frekuensi metode VLF-EM ini, memungkinkan daya penetrasi kedalaman yang cukup dalam. Untuk kedalaman jangkauan dari penetrasi radiasi gelombang ini dinyatakan dengan faktor *skin depth* (yang ditentukan oleh kondisi lingkungan di sekitar lokasi pengukuran). Kedalaman penetrasi semakin rendah pada lingkungan yang semakin konduktif. Metode ini sangat efektif untuk memisahkan anomali massa yang memiliki perbedaan konduktivitas yang signifikan terhadap lingkungan sekitarnya atau pada kondisi *overburden mass* (lapisan penutup) yang relatif dangkal (Nissen, J., 1986).

Dalam metode ini, dimanfaatkan medan elektromagnetik yang dibangkitkan oleh pemancar radio berfrekuensi sangat rendah dengan daya besar.



Medan yang diukur oleh alat VLF adalah total perbandingan antara medan elektromagnetik primer dan sekunder yang terdiri dari komponen real (*inphase*) dan imajiner (*quadrature*), serta *total field* dan *tilt angle*. Besar nilai yang terukur tergantung dari benda konduktif bawah permukaannya.

Analisis kualitatif dilakukan dengan menggunakan filter *Noise Assisted-Multivariate Empirical Mode Decomposition* (NA-MEMD). Filter ini dapat mereduksi *noise* dan tidak merusak sinyal asli (Huang *et al.*, 2013). Setelah data yang difilter mendapatkan *noise* yang kecil, maka data tersebut diinterpretasi menggunakan filter Fraser digunakan untuk melemahkan panjang gelombang yang terlalu besar dan mengurangi efek topografi. Filter Karous-Hjelt digunakan untuk menginterpretasikan konduktivitas tanah dari sudut pandang kedalamannya. Penerapan hasil filter ini berupa distribusi kerapatan arus yang dapat memberi informasi daerah konduktif dengan sudut pandang dari bawah.

Santos *et al.*, (2006) memperkenalkan analisis kuantitatif data VLF dengan menggunakan inversi data tipper (*inphase* dan *quadrature*). Hasilnya berupa nilai rapat arus ekuivalen yang dapat mencitrakan struktur bawah permukaan dengan baik. Namun demikian, analisis kuantitatif ini memerlukan informasi analisis kualitatif untuk desain input awal (Bahri *et al.*, 2008). Dengan demikian, analisis kualitatif dan kuantitatif sebaiknya diintegrasikan untuk mengetahui kondisi geologi tertentu. Berdasarkan penelitian tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan karakterisasi bawah permukaan di daerah kapur Desa Melirang Kecamatan Bungah Kabupaten Gresik dengan analisis kualitatif (VLF-EM) dan kuantitatif (inversi).

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan di atas, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mengkarakterisasi bawah permukaan daerah kapur di Desa Melirang Kecamatan Bungah Kabupaten Gresik?
2. Bagaimana menentukan sebaran batuan dolomit di daerah penelitian dengan menggunakan metode VLF-EM?



### 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengkarakterisasi bawah permukaan daerah kapur di Desa Melirang, Kecamatan Bungah, Kabupaten Gresik.
2. Menentukan sebaran batuan dolomit di daerah penelitian dengan menggunakan metode VLF-EM.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Pengukuran data di Desa Melirang Kecamatan Bungah Kabupaten Gresik
2. Akusisi data menggunakan metode VLF-EM dan pengukuran data dilakukan pada tanggal 21-26 Desember 2013. Jumlah lintasan pengukuran sebanyak 6 lintasan dengan panjang masing-masing 550 meter, jarak spasi pengukuran 5 meter, dan jarak antar pengukuran 100, 200, 300 meter.
3. Pengolahan dan analisis data menggunakan filter NA-MEMD, Fraser, dan Karous-Hjelt dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB 2010a.
4. Inversi data dilakukan dengan menggunakan *software* Inv2DVLF.
5. Validasi data VLF-EM menggunakan data geolistrik resistivitas 2D pada lintasan 14 dan lintasan 8 (untuk data VLF-EM; lintasan 1 dan lintasan 6)

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian adalah:

1. Memperoleh pengetahuan yang memadai tentang karakter bawah permukaan daerah kapur di Desa Melirang, Kecamatan Bungah, Kabupaten Gresik.
2. Memberikan informasi tentang persebaran batuan dolomit di daerah penelitian dengan menggunakan metode VLF-EM.



## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Dolomit

Pada dasarnya dolomit  $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$  terjadi karena proses pelindian (*leaching*) atau peresapan unsur Magnesium dari air laut kedalam batu gamping, atau yang lebih dikenal dengan proses dolomitisasi yaitu proses perubahan mineral kalsit menjadi dolomit. Selain itu dolomit dapat juga terbentuk karena diendapkan secara tersendiri sebagai endapan evaporit (Holly *et al.*, 2013).

Dolomit dan batu kapur adalah batuan yang sangat mirip. Keduanya memiliki rentang warna yang sama, yaitu putih keabu-abuan dan coklat terang. Keduanya memiliki kekerasan yang hampir sama dan dapat larut dalam asam klorida encer. Keduanya dihancurkan dan dipotong untuk digunakan sebagai bahan bangunan dan digunakan untuk menetralkan asam. Dolomit berasal dari lingkungan sedimen yang sama seperti kapur, yaitu dari lingkungan lautan dangkal di mana lumpur kalsium karbonat terakumulasi dalam bentuk kulit kerang yang hancur, feses, pecahan karang dan endapan karbonat. Dolomit diperkirakan terbentuk ketika kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) dalam lumpur karbonat atau batu kapur dimodifikasi oleh air tanah yang kaya magnesium. Ketersediaan magnesium memfasilitasi konversi kalsit menjadi dolomit  $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ . Perubahan kimia ini dikenal sebagai “pendolomitan”. Pendolomitan benar-benar dapat mengubah batu kapur menjadi dolomit atau mengubah sebagian batu untuk membentuk kapur dolomit (<http://www.tekmira.esdm.go.id/data/Dolomit>, 2005).

Dolomit termasuk rumpun mineral karbonat, mineral dolomit murni secara teoritis mengandung 45,6%  $\text{MgCO}_3$  atau 21,9%  $\text{MgO}$  dan 54,3%  $\text{CaCO}_3$  atau 30,4%  $\text{CaO}$ . Rumus kimia mineral dolomit dapat ditulis meliputi  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  atau  $\text{Ca}_x\text{Mg}_{1-x}\text{CO}_3$ , dengan nilai  $x$  lebih kecil dari satu. Dolomit di alam jarang yang murni, karena umumnya mineral ini selalu terdapat bersama-sama dengan batu gamping, kwarsa, rijang, pirit dan lempung. Dalam mineral dolomit terdapat pengotor, terutama ion besi. Adapun deskripsi dolomit yaitu:



Nama Mineral : Dolomit  
Rumus kimia :  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$   
Sistim Kristal : hexagonal  
Belahan : sempurna  
Warna : bening atau putih sempurna krem  
Goresan : putih  
Kekerasan : 3,5-4 skala mohs  
Kepadatan : 2.8-2.9 ton/m<sup>3</sup>

Karakteristik yang lain: Tidak sama dengan kalsit, berbuih dengan lemah dengan cuka yang hangat atau ketika lebih dulu bertepung/berbubuk dengan HCl yang dingin.



Gambar 2.1. Dolomit (<http://www.raonline.ch>, 2012)

Dolomit berwarna putih keabu-abuan atau kebiru-biruan dengan kekerasan lebih lunak dari batu gamping, yaitu berkisar antara 3,50 - 4,00 skala mohs, bersifat pejal, berat jenis antara 2,80 - 2,90 ton/m<sup>3</sup>, berbutir halus hingga kasar dan mempunyai sifat mudah menyerap air serta mudah dihancurkan. Klasifikasi dolomit dalam perdagangan mineral industri didasarkan atas kandungan unsur magnesium, Mg (kimia), mineral dolomit (mineralogi) dan unsur kalsium (Ca) dan magnesium (Mg). Kandungan unsur magnesium ini menentukan nama dolomit tersebut. Misalnya, batu gamping mengandung  $\pm 10\%$   $\text{MgCO}_3$  disebut batu gamping dolomit, sedangkan bila mengandung 19%  $\text{MgCO}_3$  disebut dolomit (<http://www.tekmira.esdm.go.id/data/Dolomit>, 2005). Dolomit merupakan



batuan sedimen yang memiliki nilai resistivitas sebesar  $10^2$ - $10^4$  ohm meter (Gufron, 2010).

Dolomit digunakan sebagai sumber magnesium (MgO). Industri baja menggunakan dolomit sebagai agen sintering dalam pengolahan bijih besi dan sebagai fluks dalam produksi baja. Di bidang pertanian, dolomit digunakan sebagai pupuk untuk meningkatkan pH tanah. Dolomit digunakan dalam produksi kaca dan keramik. Dolomit telah digunakan sebagai sumber kecil magnesium, akan tetapi saat ini kebanyakan magnesium diproduksi dari sumber lain.

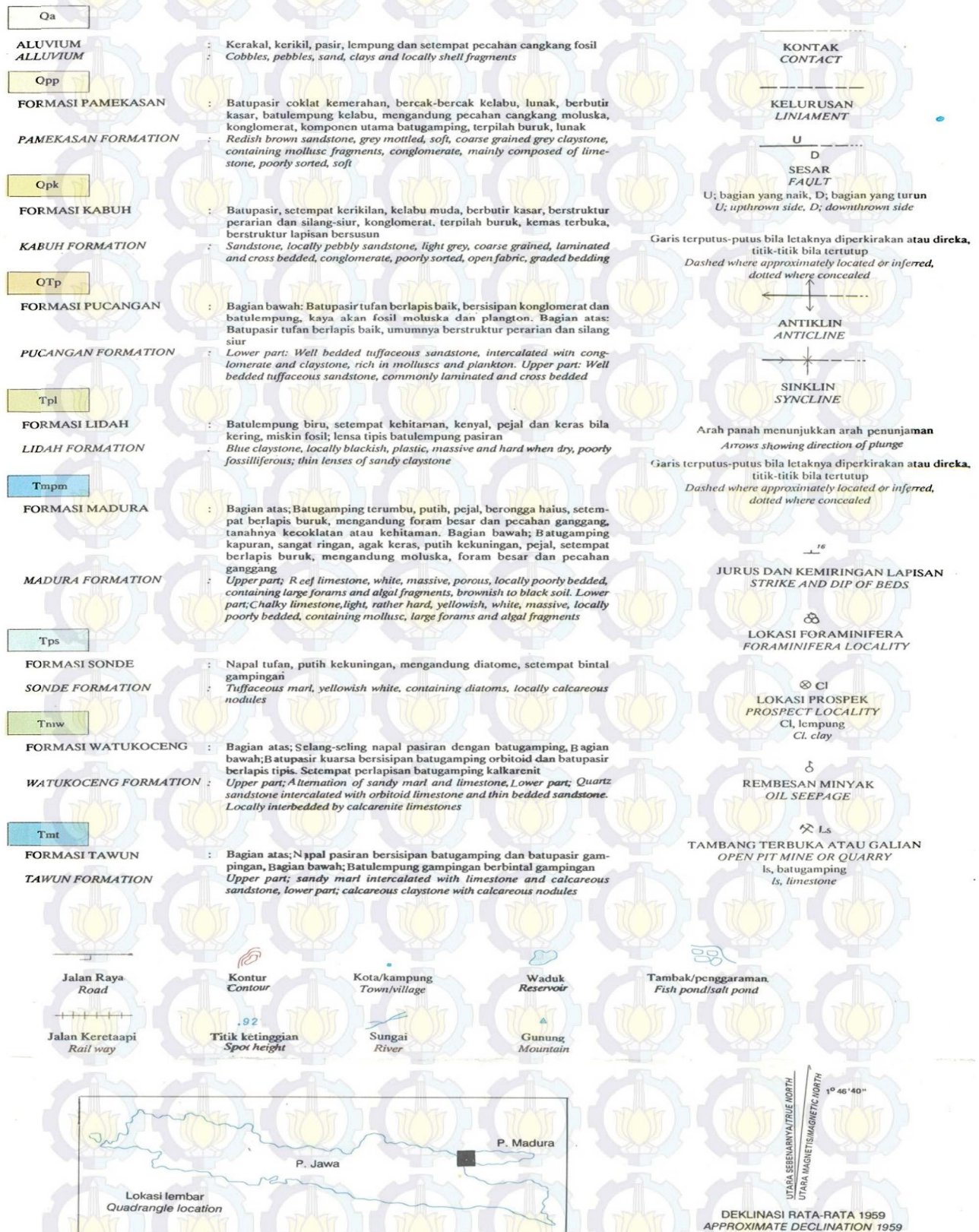
Dolomit ditemukan dalam cekungan sedimen di seluruh dunia. Hal ini diperkirakan terbentuk oleh perubahan *post depositional* lumpur kapur dan batu kapur dengan air tanah yang kaya magnesium. Keberadaan dolomit di Indonesia cukup melimpah terutama di daerah Jawa Timur, salah satunya di Desa Melirang, Kecamatan bungah, Kabupaten Gresik. Penduduk di daerah ini, memanfaatkan batuan dolomit sebagai bahan bangunan pengganti batu bata. Salah satu kecamatan yang ada di Kabupaten Gresik bagian utara adalah Bungah (meliputi wilayah Panceng, Ujung Pangkah, Sidayu, Bungah, Dukun, Manyar), merupakan bagian dari daerah pegunungan Kapur Utara yang memiliki tanah relatif kurang subur. Sebagian dari daerah ini adalah hilir aliran Bengawan Solo yang bermuara dari pantai utara Kabupaten Gresik. Daerah hilir Bengawan Solo tersebut sangat potensial karena mampu menciptakan lahan yang cocok untuk pemukiman maupun usaha pertambakan (BPS, 2012).







## KETERANGAN EXPLANATION



Gambar 2.3 Keterangan Peta Geologi Kabupaten Gresik



## 2.2 Metode *Very Low Frequency-Electromagnetic* (VLF-EM)

Metode VLF-EM merupakan metode elektromagnetik yang sinyalnya menggunakan gelombang radio dengan frekuensi 15-30 kHz. Metode ini termasuk metode elektromagnetik pasif yang telah banyak digunakan dalam eksplorasi geofisika untuk berbagai keperluan seperti survei tanah, investigasi sesar dangkal, pemetaan geologi, dan studi bentuk lahan (Al-Tarazi *et.al.*,2008; Bernard dan Valla, 1991; Fischer *et.al.*,1983; Jeng *et.al.*,2004).

Medan elektromagnetik VLF dihasilkan oleh pemancar gelombang radio dengan panjang gelombang 10-20 km. Dua pemancar terdekat dengan Indonesia berada di Yosamai, Jepang dan Northwest Cape, Australia. Antena pemancar terdiri dari beberapa menara tinggi yang berkisar antara 200-300 meter. Namun, tinggi menara tersebut jauh lebih kecil dibandingkan dengan panjang gelombang yang terpancar yaitu 10.000-20.000 meter. Akibatnya pada jarak yang cukup jauh sistem antena tersebut dapat dipandang sebagai dipole listrik vertikal dengan arus listrik yang mengalir dari dan ke kutub-kutubnya.

Pemancar VLF akan memancarkan sinyal VLF dengan daya radiasi tertentu. Besarnya daya radiasi yang dipancarkan oleh pemancar VLF memiliki satuan Watt dan dinyatakan dengan persamaan berikut ini:

$$P \cong x - V C h_e f \quad (2.1)$$

dimana V adalah tegangan yang melalui antena, C adalah kapasitansi antena termasuk di puncaknya,  $h_e$  adalah ketinggian efektif antena (dapat didekati dengan ketinggian sebenarnya h) dan f adalah frekuensi yang dioperasikan. Sehingga harga komponen medan magnet pada jarak tertentu dari pemancar dengan asumsi tanah adalah penghantar sempurna dan datar:

$$E_z = \frac{\sqrt{P}}{r} \quad (2.2)$$

$$H_\phi = \frac{E_z}{\eta}, \quad (2.3)$$

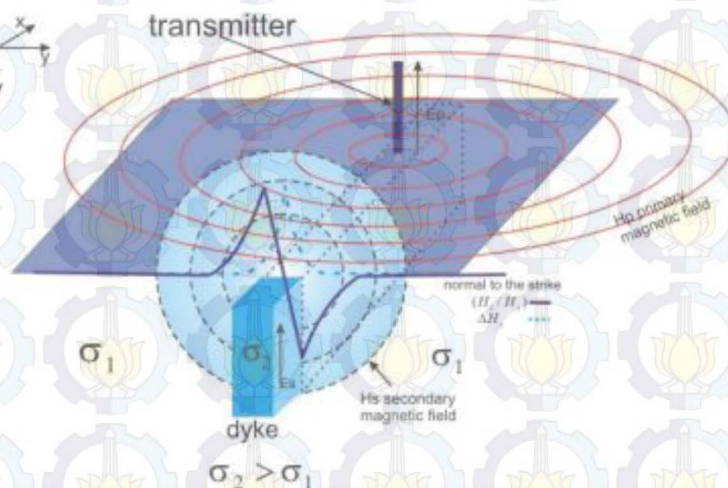
dimana P adalah radiasi dari pemancar (dalam watt),  $E_z$  harga puncak medan listrik (dalam volt per meter),  $H_\phi$  adalah harga puncak medan magnetik (dalam ampere per detik), r adalah jarak dari pemancar (dalam meter) dan  $\eta_0$  adalah impedansi intrinsik ruang hampa ( $120\pi$  ohm).



Pada penerimaan sinyal VLF ada sumber gangguan utama. Sumber gangguan (*noise*) utama tersebut adalah sumber eksternal yang dihasilkan oleh radiasi medan elektromagnetik ketika terjadi pelepasan petir di atmosfer baik lokal maupun regional, sehingga menyebabkan laju atenuasi pada frekuensi VLF menjadi rendah secara ekstrem.

Medan elektromagnetik primer sebuah pemancar radio, memiliki komponen medan listrik vertikal  $E_{pz}$  dan komponen medan magnetik horizontal  $H_{py}$ , tegak lurus terhadap arah perambatan sumbu x. Pada jarak yang cukup jauh dari antenna pemancar, komponen medan elektromagnetik primer dapat dianggap sebagai gelombang yang berjalan secara horizontal. Jika di bawah permukaan terdapat suatu medium yang konduktif, maka komponen medan magnetik dari gelombang elektromagnetik primer akan menginduksi medium tersebut sehingga akan menimbulkan arus induksi (*Eddy Current*),  $E_{sx}$ .

Arus Eddy (seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.4) akan menimbulkan medan elektromagnetik baru yang disebut medan elektromagnetik sekunder ( $H_s$ ), yang mempunyai komponen horizontal dan vertikal. Medan magnetik ini mempunyai bagian yang sefase (*inphase*) dan berbeda fase (*quadrature*) dengan medan primer. Adapun besar medan elektromagnetik sekunder sangat tergantung dari sifat konduktivitas benda di bawah permukaan.



Gambar 2.4 Distribusi medan elektromagnetik untuk metode VLF-EM dalam polarisasi listrik dengan sinyal teoritis atas tanggul konduktif vertikal (diambil dan di Gambar ulang dari Bosch dan Muler, 2001)



Medan elektromagnetik yang merambat pada konduktivitas batuan  $\sigma$ , permitivitas  $\epsilon$  dan permeabilitas  $\mu$  berlaku persamaan Maxwell yang ditulis dalam domain frekuensi:

$$\nabla \times \mathbf{H} = (\sigma + i\omega\epsilon) \mathbf{E} \text{ (Hukum Ampere)} \quad (2.4a)$$

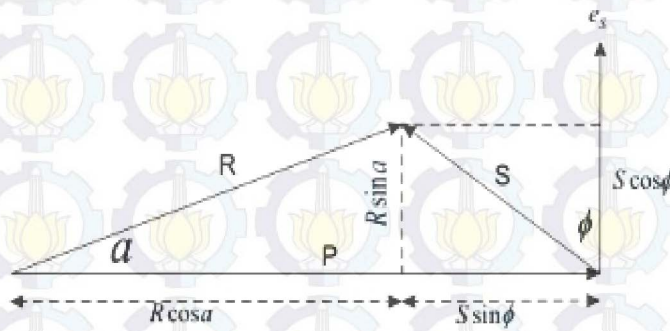
$$\nabla \times \mathbf{E} = - (i\omega\mu_0) \mathbf{H} \text{ (Hukum Faraday)} \quad (2.4b)$$

$$\nabla \cdot (\epsilon \mathbf{E}) = \rho \text{ (Hukum Gauss)} \quad (2.4c)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0, \quad (2.4d)$$

dimana  $\mathbf{E}$  dan  $\mathbf{H}$  masing-masing merupakan vektor medan listrik dan medan magnet fungsi waktu  $t$  dengan frekuensi sudut  $\omega$  dan  $\rho$  merupakan rapat muatan (Kalscheuer et.al., 2008). Pada persamaan (2.4a) bagian ruas kanan terdapat kuantitas  $\mathbf{J}_{cond} = \sigma \mathbf{E}$ ,  $\mathbf{J}_{disp} = i\omega\epsilon \mathbf{E}$  dan  $\mathbf{J} = (\sigma + i\omega\epsilon) \mathbf{E}$  masing-masing merupakan rapat arus konduksi, *displacement* dan total. Rapat arus *displacement* menggambarkan efek dielektrik elektronik, atomik, molekuler dan perubahan ruang polarisasi bahan dengan permitivitas dielektrik  $\epsilon$  akibat medan listrik sebagai fungsi waktu.

Karakteristik gelombang elektromagnetik dalam metode VLF dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada saat gelombang primer masuk kedalam medium, gaya gerak listrik (ggl) induksi  $e_s$ , akan muncul dengan frekuensi yang sama, tetapi fasenya tertinggal  $90^\circ$  (Kaikonen, 1979). Gambar 2.5 menunjukkan diagram vektor antara medan primer  $P$  dan ggl induksinya. Kombinasi antara medan  $P$  dan medan  $S$  ( $R \cos \alpha$ ) disebut komponen real (*inphase*) dan komponen yang tegak lurus  $P$  ( $R \sin \alpha$ ) disebut komponen imajiner (*out of phase*, komponen kuadratur)



Gambar 2.5 Diagram vektor antara medan primer  $P$  dan gaya gerak listrik (ggl) induksinya (Kaikonen, 1979).



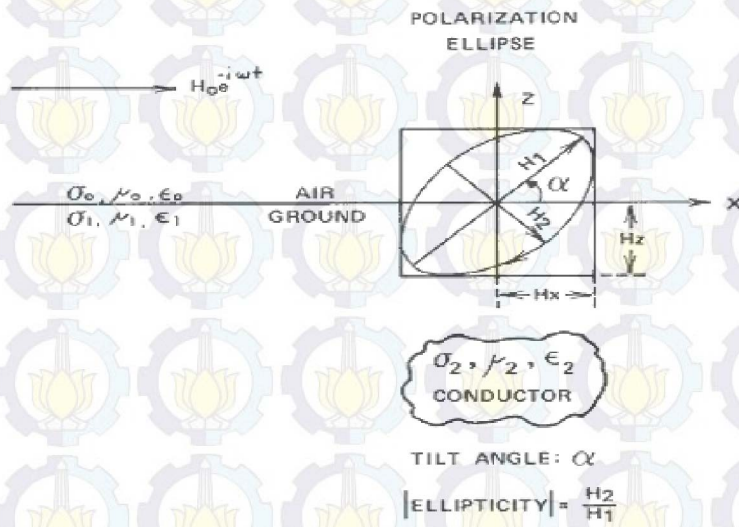
Jika medan magnet horizontal adalah  $H_x$  dan medan magnet vertikalnya adalah  $H_z$ , maka besarnya sudut tilt dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 2.6, yang besarnya adalah

$$\tan(2\theta) = \frac{\left(\frac{H_z}{H_x}\right) \sin \phi}{-\left(\frac{H_z}{H_x}\right) \cos \phi} \times 100\% \quad (2.5)$$

dan eliptisitasnya diberikan sebagai

$$\varepsilon = \frac{b}{a} = \frac{H_z H_x \sin \phi}{- [H_z e^{i\phi} \sin \theta \quad H_x \cos \theta]} \times 100\%, \quad (2.6)$$

dimana *Ellips* yang dibentuk oleh  $H_x$  dan  $H_z$  mempunyai dua parameter fisis. Pertama, *tilt angle* ( $\alpha$ ) merupakan kemiringan sumbu utama terhadap bentuk polarisasi *ellips*. Kedua, eliptisitas ( $\varepsilon$ ) merupakan sumbu mayor ( $H_1$ ) dan minor ( $H_2$ ) *ellips*.



Gambar 2.6 Polarisasi ellips akibat kehadiran benda konduktif pada bidang medan elektromagnetik (Peterson dan Ronka, 1971).

Berbentuk *ellips* jika  $H_x$  dan  $H_z$  besarnya tidak sama dan berbentuk lingkaran jika  $H_x$  dan  $H_z$  besarnya sama. Bagian *real* data tipper disebut dengan *Inphase* dan bagian imajiner disebut dengan *Quadrature*. Menurut Simpson dan Bahr (2005), data tipper ini cocok untuk memetakan perbedaan konduktivitas secara lateral, namun kurang bagus untuk perbedaan konduktivitas secara vertikal.



Untuk memodelkan besaran  $E_x$  pada setiap kedalaman dan posisi lateral, sulit dilakukan secara analitik. Oleh karena itu, Kalscheuer *et.al.*, (2008) menganalisis persamaan tersebut dengan menggunakan beda hingga (*finite difference*), sedangkan Monteiro Santos *et.al.*, (2006) dan Srigutomo *et.al.*, (2005) menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*). Kedua analisis tersebut merupakan penyederhanaan penjalaran gelombang  $E_x$  saja. Walaupun demikian, kedua pendekatan ini cukup valid untuk mengestimasi penjalaran gelombang elektromagnetik (Siripunvaraporn *et.al.*, 2002). Setelah  $E_x$  diketahui, selanjutnya dilakukan estimasi  $H_y$  dan  $H_z$  yang merupakan hasil differensial dari  $E_x$ . Setelah ketiga parameter tersebut didapatkan, maka dilakukan estimasi nilai resistivitas semu dan fase. Persamaan resistivitas semu dan fase adalah sebagai berikut.

$$\rho_a^{xy} = \frac{1}{\omega\mu} |Z_{xy}|^2 \quad \text{dan} \quad \phi^{xy} = \arg(Z_{xy}) \quad (2.7)$$

dengan  $Z_{xy} = \frac{E_x}{H_y}$

Parameter-parameter VLF-EM yang penting sebagai berikut.

a. Pemancar

Pemancar ini mulai dibangun sejak Perang Dunia I, digunakan untuk komunikasi jarak jauh karena kemampuannya untuk komunikasi gelombang dengan pelemahan yang sangat kecil pada gelombang bumi ionosfer. Penetrasinya cukup efektif hingga dapat menembus laut dalam.

b. Pengaruh Atmosfer

Sumber gangguan utama pada proses pengukuran VLF-EM adalah adanya radiasi medan elektromagnetik akibat kilat baik ditempat yang dekat maupun di tempat yang jauh dari daerah pengukuran. Pada frekuensi VLF-EM, radiasi medan ini dapat melemahkan sinyal yang dipancarkan oleh pemancar. Gangguan ini dicirikan dengan naiknya kuat medan listrik vertikal dan medan horizontal secara tiba tiba.



Gangguan kedua adalah variasi harian medan elektromagnetik bumi, dimana terjadi pergerakan badai dari arah timur ke barat yang terjadi pada siang hingga sore hari menjelang malam. Untuk daerah sekitar Australia, gangguan minimum terjadi pada bulan Mei-Juli, dan gangguan maksimum terjadi pada jam 08.00 waktu lokal, kemudian merambat naik hingga maksimum pada jam 16.00 waktu lokal (McNeill dan Labson, 1991).

c. Rambatan Gelombang Elektromagnetik

Pada elektromagnetik VLF dengan frekuensi  $<100$  kHz, arus pergeseran akan lebih kecil dari arus konduksi karena permitivitas dielektrik batuan rata-rata cukup kecil dan konduktivitas target biasanya  $> 10^{-2}$  S/m. Hal ini menunjukkan efek medan akibat arus konduksi memegang peranan penting ketika terjadi perubahan konduktivitas batuan.

d. Pelemahan (Atenuasi) Medan

Pelemahan medan ini mempengaruhi kedalaman. Kedalaman pada saat amplitudo menjadi  $1/e$  (kira-kira 37%) dikenal sebagai *skin depth* atau kedalaman kulit. Kedalaman ini dalam metode elektromagnetik disebut sebagai kedalaman penetrasi gelombang, yaitu kedalaman  $= 504\rho$  dimana  $\rho$  adalah resistivitas dalam  $\Omega\text{m}$  dan  $f$  adalah frekuensi.

### 2.3 Multivariate Empirical Mode Decomposition (MEMD)

MEMD merupakan perluasan *multivariate* (multivariabel) dari *Empirical Mode Decomposition* (EMD) standar (Huang *et.al.*, 1998). EMD pertama kali diusulkan oleh Huang *et.al.*, (1971). Ini adalah metode adaptif untuk menganalisis data nonlinier dan nonstasioner, menguraikan data ke dalam satu set mode osilasi yang diberi nama *intrinsic mode function* (IMF). Lebih khususnya, untuk sebuah sinyal  $x(t)$ , EMD menemukan  $K$  IMF  $c_1(t), c_2(t), \dots, c_K(t)$  dan sebuah sinyal residu  $r(t)$ , sehingga :

$$x(t) = \sum_{i=1}^K c_i(t) + r(t) \quad (2.8)$$

Setelah penemuan tersebut, banyak varian EMD telah diusulkan dan perluasan *multivariate* merupakan arah penelitian yang penting. MEMD baru-baru



ini telah diusulkan oleh Rehman dan Mandic (2010) untuk memproses sinyal *multivariate* yang memiliki jumlah *channel* yang sembarang.

Langkah penting untuk MEMD adalah perhitungan rata-rata lokal. Selain itu, gagasan "model osilasi" mendefinisikan IMF agak membingungkan untuk data spasial *multivariate*. Untuk mengatasi masalah ini, Rehman dan Mandic (2010) membuat beberapa *envelope* dimensi- $n$  dengan mengambil proyeksi dari beberapa *input* di sepanjang arah yang berbeda di ruang dimensi- $n$ . IMF dihitung dengan menggunakan *envelope*.

Dengan menganggap  $V(s) = \{v_1(s), v_2(s), \dots, v_n(s)\}$  adalah sekumpulan  $n$  data spasial sebagai fungsi ruang ( $s$ ) dan  $X^{\theta_k} = \{x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k\}$  menunjukkan arah vektor sepanjang arah yang diberikan oleh sudut dalam satu set arah,  $X(k = 1, 2, \dots, K, K$  adalah jumlah arah). Kemudian, dari IMF kemudian set data spasial dapat diperoleh dengan menggunakan algoritma 1 (Rehman dan Mandic, 2010b) :

Algoritma 1: MEMD

- 1) Bangkitkan sekumpulan vektor arah yang sesuai,  $X$ .
- 2) Hitunglah sebuah proyeksi,  $p^{\theta_k}(s)$ , dari sekumpulan data spasial  $V(s)$  sepanjang vektor arah  $X^{\theta_k}$ , untuk semua nilai  $k$ .
- 3) Temukan sesaat spasial  $s_i^{\theta_k}$  yang sesuai dengan *maxima* proyeksi untuk semua nilai  $k$ .
- 4) Interpolasikan  $[s_i^{\theta_k}, V(s_i^{\theta_k})]$  untuk memperoleh kurva *multivariate envelope*  $e^{\theta_k}(s)$  untuk semua nilai  $k$ .
- 5) Rerata  $M(s)$  dari kurva *envelope* dihitung dengan  $M(s) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K e^{\theta_k}(s)$
- 6) Ekstrak "detail"  $D(s)$  menggunakan  $D(s) = V(s) - M(s)$ . Jika "detail"  $D(s)$  memenuhi kriteria penghentian untuk IMF *multivariate*, terapkan prosedur di atas untuk  $V(s) - D(s)$ , jika tidak, menerapkannya ke  $D(s)$ .

Kriteria penghentian untuk IMF *multivariate* mirip dengan yang diusulkan oleh Huang *et al.*, (2003), perbedaannya adalah bahwa kondisi



kesetaraan jumlah ekstrim dan *zero crossing* tidak dikenakan, karena ekstrim tidak dapat secara tepat didefinisikan untuk sinyal *multivariate*.

Transformasi Hilbert (Huang *et.al.*, 1998) dilakukan untuk setiap IMF untuk mendapatkan frekuensi sesaat, yaitu turunan dari fungsi fase. Frekuensi sesaat SW dan faktor lingkungan diubah menjadi periode ( $1/\text{frequency}$ ) dan periode selanjutnya dikonversi ke skala spasial setelah dikalikan dengan interval *sampling*.

## **2.4 Filter Noise Assisted-Multivariate Empirical Mode Decomposition (NA-MEMD)**

Algoritma NA-MEMD mencoba untuk mengeliminasi interferensi *noise* yang terjadi pada *Ensemble Empirical Mode Decomposition* (EEMD) dan mereduksi *mode-mixing* pada keluaran *Empirical Mode Decomposition* (EMD) dan *Multivariate Empirical Mode Decomposition* (MEMD). Ini diuraikan dalam Algoritma2, dimana langkah pertama memastikan bahwa saluran *noise* tidak ditambahkan kesinyal yang sudah memenuhi kriteria IMF. Metode ini beroperasi dengan membentuk sinyal *multivariate* yang terdiri dari *input* data dan *noise* pada *channel* yang terpisah (Rehman dan Mandic, 2011).

Algoritma 2: NA-MEMD

- 1) Periksa apakah sinyal *input* memenuhi kriteria IMF. Jika tidak, lanjutkan ke langkah selanjutnya. Sebaliknya, hentikan proses.
- 2) Buat *Gaussian white noise time series* tak berkorelasi (*1-channel*) yang panjangnya sama dengan panjang *input*, dengan  $l \geq 1$ .
- 3) Tambahkan saluran *noise* (*1-channel*) yang dibuat di langkah 2 ke sinyal masukan *multivariate* (*n-channel*)  $n \geq 1$ , sehingga diperoleh  $(n + 1)$ -*channel* sinyal *multivariate*.
- 4) Proses sinyal *multivariate*  $(n + 1)$ -*channel* yang dihasilkan  $n + 1 \geq 2$  menggunakan algoritma MEMD untuk mendapatkan IMF *multivariate*.
- 5) Dari  $(n + 1)$  IMF *multivariate* yang dihasilkan, buang *1-channel* yang bersesuaian dengan *noise*, sehingga memberikan satu set *n-channel* IMF yang sesuai dengan sinyal asli.



## 2.5 Filter Fraser

Filter Fraser adalah perangkat lunak yang berfungsi melemahkan panjang gelombang yang terlalu besar untuk mengurangi efek topografi. Filter Fraser diaplikasikan pada data *tilt-angle* yang merupakan hasil polarisasi elipstik medan magnetik bawah permukaan. Filter ini dihitung dengan menggunakan prinsip gradien horizontal dan penghalusan data untuk memberikan nilai maksimum pada benda yang lebih konduktif. Selain itu, filter ini mengurangi efek pelemahan dari variasi temporal kuat sinyal pemancar (Fraser, 1969).

Jika  $f(i) = f_i$  menyatakan data yang terkumpul, maka rata-rata data ke-1 dan ke-2 diberikan oleh:

$$\bar{f}_{12} = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad (2.9)$$

Pertimbangkan nilai persamaan (2.9) yang akan diplot antara titik 1 dan 2 dan dengan melakukan hal yang sama dengan data ke-3 dan ke-4.

$$\bar{f}_{34} = \frac{f_3 + f_4}{2} \quad (2.10)$$

Jika  $\Delta x$  menyatakan jarak antara masing-masing stasiun sepanjang lintasan, maka

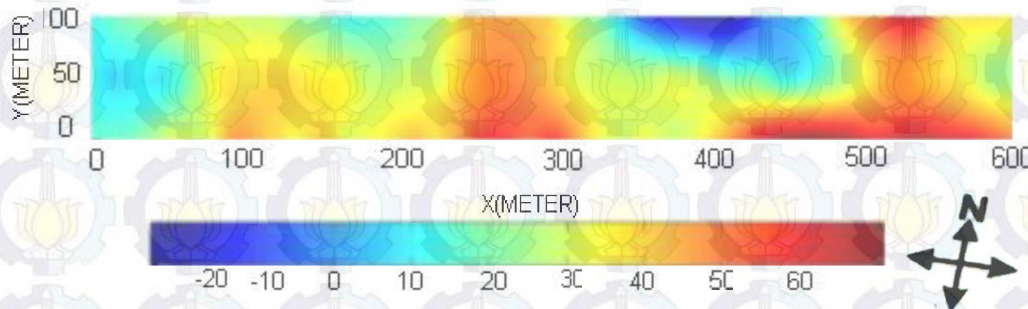
$$\frac{\bar{f}_{12} - \bar{f}_{34}}{2\Delta x} = \frac{(f_1 + f_2) - (f_3 + f_4)}{4\Delta x} \quad (2.11)$$

Karena  $4\Delta x$  konstan, sehingga dapat diabaikan. Dengan demikian, filter Fraser menjadi  $(f_1 + f_2) - (f_3 + f_4)$  atau secara umum dapat ditulis:

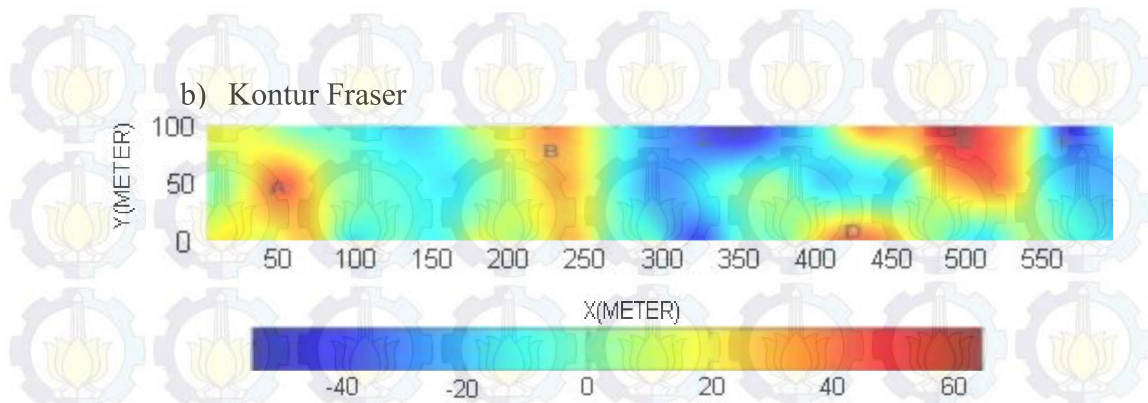
$$F_n = (f_{n+2} + f_{n+3}) - (f_n + f_{n+1}) \quad (2.12)$$

Contoh penerapan filter Fraser dapat dilihat pada gambar 2.7.

a) Kontur Inphase







Gambar 2.7 Kontur Fraser VLF-EM a) data lapangan (*inphase*), b) data lapangan yang difilter Fraser. Anomali hasil filter Fraser lebih jelas dan fokus yang ditandai huruf A, B, D, dan E (Bahri *et.al.*, 2008)

## 2.6 Filter Karous-Hjelt

Filter Karous-Hjelt (Karous dan Hjelt, 1983) merupakan filter yang dikembangkan dari konsep medan magnetik yang berhubungan dengan aliran arus listrik. Filter ini dikembangkan dari filter statistika linear berdasarkan atas filter Fraser (Fraser, 1969) dan teori filter linear dari Bendat dan Piersol (1968). Filter ini menghasilkan profil variasi rapat arus terhadap kedalaman yang diturunkan dari nilai komponen vertikal medan magnetik pada setiap titik pengukuran.

Eksperimen telah dilakukan dengan sejumlah koefisien filter (Karous dan Hjelt, 1977). Hasilnya menunjukkan bahwa filter bekerja dengan baik, bentuk sederhananya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta z}{2\pi} \cdot I_a(\Delta x / 2) = & -0.205 \cdot H_{-2} + 0.323 \cdot H_{-1} - 1.446 \cdot H_0 \\ & + 1.446 \cdot H_1 - 0.323 \cdot H_2 + 0.205 \cdot H_3, \end{aligned} \quad (2.13)$$

dimana,

$$H_i = H_{zm}(i \cdot \Delta x)$$

Dalam interpretasi data lapangan, nilai yang terukur harus diperhalus sebelum difilter. Dengan mengambil rata-rata dari nilai yang berdekatan  $H_i$  dan  $I_a$ , filter yang simetris kita dapatkan:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta z}{2\pi} \cdot \bar{I}_a(0) = & -0.102 \cdot H_{-2} + 0.059 \cdot H_{-1} - 0.561 \cdot H_0 \\ & + 0.561 \cdot H_1 - 0.059 \cdot H_2 + 0.102 \cdot H_3, \end{aligned} \quad (2.14)$$



dimana,

$$\bar{I}(0) = \frac{1}{2} [I(\Delta x / 2) + I(-\Delta x / 2)]$$

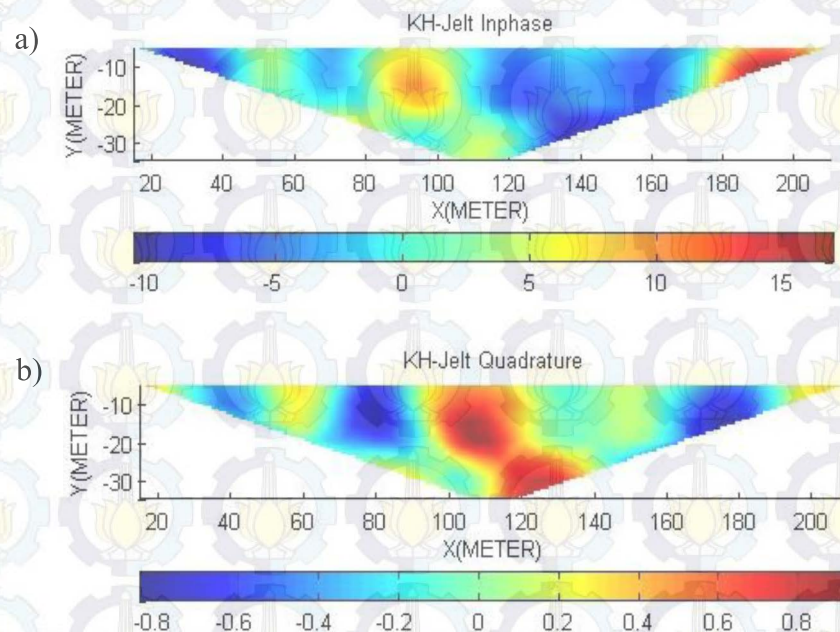
Koefisien filter diterapkan secara terpisah pada komponen *in-phase* (real) dan *quadrature* (imajiner) dari anomali relatif  $H_{zm}/H_0$  untuk memberikan komponen yang sesuai dari rapat arus. Contoh penerapan filter Karous-Hjelt dapat dilihat pada Gambar 2.5.

Tabel 2.1 Koefisien filter  $K_{i0}^{-1}$  untuk beberapa nilai  $n$ . Koefisien untuk  $-i+1$  adalah -1 kali koefisien untuk  $i$

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n$										
0	1.250									
1	1.383	-0.115								
2	1.446	-0.323	0.205							
3	1.434	-0.299	-0.109	0.102						
4	1.434	-0.298	0.116	-0.003	0.116					
9	1.434	-0.299	0.109	0.013	0.027	0.020	0.019	0.022	0.022	0.081

Sumber: Karous dan Hjelt (1983)

Berikut adalah contoh hasil pengolahan data VLF-EM menggunakan filter Karous-Hjelt.

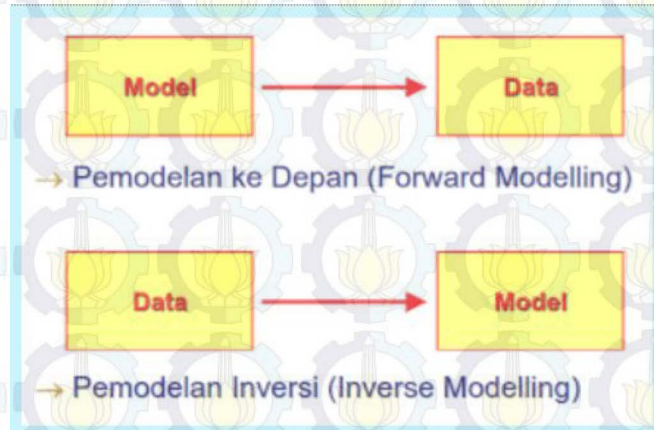


Gambar 2.8 Hasil pengolahan data dengan menggunakan filter Karous-Hjelt: (a) *inphase* dan (b) *quadrature* (Feriadi, 2013)



## 2.7 Forward Modelling dan Inversi

*Forward modelling* merupakan pemodelan yang dilakukan untuk memperoleh data dari model yang ada berdasarkan sifat-sifat fisis yang diketahui. Sedangkan, Inversi merupakan suatu penjabaran matematis untuk memperoleh informasi sistem fisika berdasarkan data observasi terhadap suatu sistem tersebut (Menke, 1984).



Gambar 2.9 Perbandingan *forward modelling* dan inversi (Grandis, 2009)

Untuk dapat memodelkan parameter fisis lapisan bumi terhadap nilai resistivitas semu dan nilai fase TE, terlebih dahulu dilakukan diskritisasi parameter fisis blok lapisan bumi tersebut. Parameter fisis yang berkaitan dengan resistivitas semu dan fase TE adalah nilai resistivitas batuan. Misalkan  $m$  merupakan diskritisasi resistivitas suatu batuan, maka  $m=[m_1, m_2, m_3, \dots, m_n]$  dan  $d$  adalah data observasi  $d=[d_1, d_2, d_3, \dots, d_n]$ , serta parameter model secara teori  $F[m]$ . Hubungan data dengan parameter model secara umum dapat dinyatakan oleh persamaan:

$$d = F[m] \quad (2.15)$$

Persamaan (2.15) digunakan untuk menyatakan hubungan antara data dengan parameter model yang direpresentasikan oleh fungsi nonlinear. Dalam hal ini,  $F[m]$  sebagai fungsi pemodelan ke depan yang merupakan fungsi nonlinear dari parameter model.

Dengan data pengukuran  $d$ , maka cara konvensional untuk dapat memecahkan permasalahan inversi pada persamaan (2.15) didasarkan pada minimalisasi fungsi parametrik Tikhonov yang direpresentasikan oleh persamaan:



$$P(m) = \phi(m) + \lambda^2 s(m) \quad (2.16)$$

$\phi(m)$  merupakan fungsi misfit,  $s(m)$  fungsi penstabil,  $\lambda$  parameter regulasi yang mengontrol *trade-off* antara dua parameter yang berkontribusi terhadap model. Fungsi misfit dan penstabil diberikan oleh:

$$\phi(m) = \|d - A(m)\| \quad (2.17)$$

$$s(m) = \|C(m)\|^2 \quad (2.18)$$

$C$  merupakan matriks pembobot pada parameter model (Zhdanov, 2002). Rodi dan Mackie (2001) menggunakan metode Gauss-Newton untuk inversi data medan elektromagnetik. Dasar metode ini, melinierkan  $F[m]$  dengan menggunakan deret Taylor dengan mengambil dua suku pertama.

$$F[m_{k+1}] = F[m_k + \delta m] = F[m_k] + J_K(m_{k+1} - m_k) \quad (2.19)$$

$k$  merupakan bilangan iterasi dan  $J = \partial F / \partial m$  adalah matriks sensitivitas atau biasa disebut dengan matriks Jacobian. Selanjutnya, persamaan ini dapat diubah menjadi persamaan linear.

$$F[m_{k+1}] - F[m_k] = J_K(m_{k+1} - m_k) \quad (2.20)$$

Persamaan ini mirip dengan persamaan yang berlaku hubungan linear antara data dan parameter model,  $d = F[m]$ . Pada kasus ini, data diganti dengan perturbasi data  $F[m_{k+1}] - F[m_k]$  dan model diganti dengan perturbasi model  $(m_{k+1} - m_k)$ . Selain itu, matriks Kernel pada kasus ini merupakan matriks Jacobian yang mengandung arti seberapa besar data prediksi berubah sebagai akibat dari perubahan atau perturbasi model. Karena itulah, matriks Jacobian disebut dengan matriks Sensitivitas. Berdasarkan analogi, solusi inversi persamaan ini dapat dinyatakan (DeGroot-Hedlin dan Constable, 1990).

$$m_{k+1} = m_k + [J_K^T J_K]^{-1} J_K^T (F[m_{k+1}] - F[m_k]) \quad (2.21)$$

Persamaan ini menyatakan bahwa model iterasi ke- $(k+1)$  merupakan model iterasi sebelum  $k$  yang di *update* dengan menggunakan faktor koreksi.

Menurut Grandis (2009), persamaan ini seringkali terjadi *overshoot* di awal iterasi. Oleh karena itu, Levenberg-Marquardt memodifikasi persamaan tersebut dengan menggunakan *Lagrange Multiplier* ( $\lambda$ ) dan operator penghalus



Laplacian ( $C$ ). Operator Laplacian diestimasi dari differensial kedua dengan menggunakan *finite difference*. Ungkapan operator tersebut adalah sebagai berikut.

$$C = \begin{pmatrix} 1 & -2 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & -2 & 1 & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 1 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & 1 & -2 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.22)$$

$$m_{k+1} = m_k + [J_k^T J_k + \lambda^2 C^T C]^{-1} J_k^T (F[m_{k+1}] - F[m_k]) \quad (2.23)$$

Metode ini merupakan gabungan antara metode Gauss-Newton dengan metode Gradien yang disebut dengan metode Levenberg-Marquardt yang identik dengan inversi non-linear teredam (Grandis, 2009). Secara garis besar, tahapan metode ini sebagai berikut: pada iterasi awal, digunakan faktor redaman  $\lambda^2$  yang cukup besar sehingga elemen diagonalnya menjadi dominan, berlaku metode Gradien. Jika perturbasi model menghasilkan fungsi objektif yang lebih rendah berarti mendekati solusi dan pengaruh  $\lambda^2$  diperkecil, sehingga langkah berikutnya menggunakan metode Gauss-Newton.

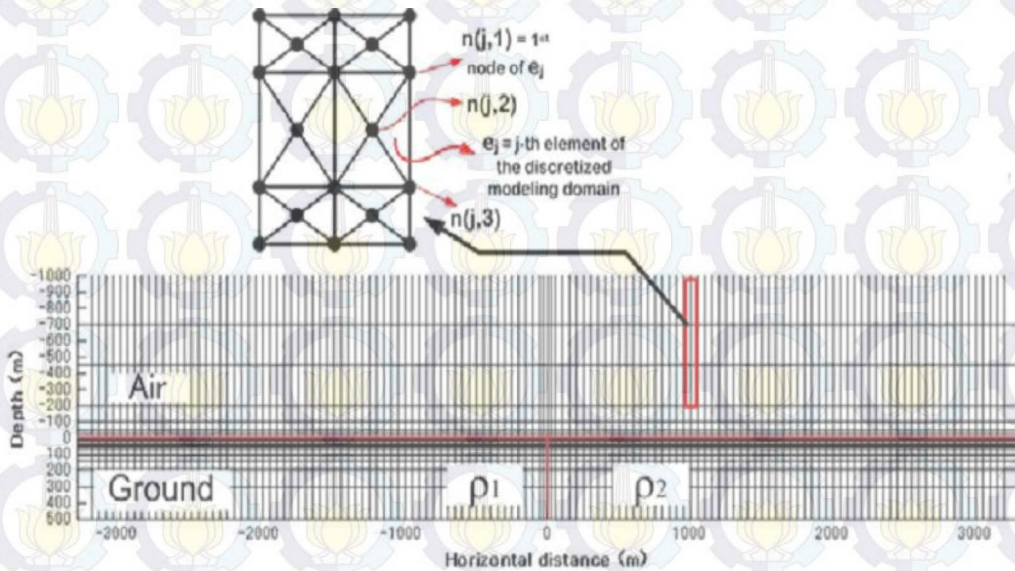
## 2.8 Finite Element Method (FEM)

Pada dasarnya metode ini digunakan untuk menyederhanakan suatu permasalahan secara numerik dengan hasil yang mendekati hasil analitik (Kwon dan Bang, 1996). *Finite element method* Galerkin digunakan untuk menyelesaikan persamaan (2.24). Metode ini dilakukan dengan cara membuat *grid* terlebih dahulu seperti gambar 2.10.

Selanjutnya dilakukan analisis interpolasi untuk mendapatkan  $E_x$  yang belum diketahui. Syarat batas pada permukaan bumi atau bagian atas model yaitu dengan pengaturan nilai medan listrik yang bernilai 1, sedangkan syarat batas bagian samping didasarkan pada syarat  $\partial E_x / \partial y = 0$ . Dan batas bagian bawah didasarkan pada persamaan *skin depth*. Selanjutnya,  $E_x$  dapat diestimasi berdasarkan persamaan:



$$K \{E_x\} = s \quad (2.24)$$



Gambar 2.10 Grid untuk menganalisis  $E_x$  dengan menggunakan metode FEM (Srigutomo et.al.,2005)

$K$  merupakan matriks yang berukuran  $N \times N$  yang mengandung variabel posisi dan resistivitas batuan dan  $s$  adalah syarat batas dengan ukuran  $N \times 1$  dengan  $N$  adalah banyaknya nilai  $E_x$  yang ingin diketahui. Estimasi nilai  $E_x$  sering menimbulkan masalah. Hal ini terjadi karena matriks  $K$  seringkali bersifat *singular*. Untuk itu, estimasi nilai  $E_x$  dapat dilakukan dengan metode *quasi-minimal residual* (QMR), dekomposisi *lower upper* (LU) atau metode *biconjugate-gradient*.

Selanjutnya, untuk estimasi  $H_z$  dan  $H_y$  dilakukan dengan menggunakan metode FEM.  $H_z$  dinyatakan melalui  $a_k$  dan  $E_x$ , sedangkan  $H_y$  dinyatakan melalui  $b_k$  dan  $E_x$ .

$$a_k^T E_x = H_z^k \quad (2.25)$$

$$b_k^T E_x = H_y^k \quad (2.26)$$

Matriks  $a_k^T$  dan  $b_k^T$  berukuran  $N \times N$ . Estimasi  $H_z$  dan  $H_y$  pada persamaan (2.25) dan (2.26) dilakukan dengan perkalian matriks biasa. Selanjutnya estimasi matriks Jacobian yang efisien diusulkan oleh Rodi (1976) dan Rodi dan Mackie (2001).



Impedansi ke- $k$  atau data VLF untuk suatu model  $m$  dinyatakan sebagai komponen horizontal listrik atau magnetik dari TE.

$$Z^k(m) = \frac{a_k(m)^T E_x(m)}{b_k(m)^T E_x(m)} \quad (2.27)$$

$a_k(m)$  dan  $b_k(m)$  adalah vektor-vektor koefisien perhitungan differensiasi sentral dari medan pembantu pada impedansi jenis medan TE. *Input* matriks Jacobian untuk impedansi ke- $k$  atau data TE terhadap parameter model ke-1 kemudian dihitung sebagai:

$$\begin{aligned} J^{kl}(m) &= \frac{\partial Z^k(m)}{\partial m^l} = \frac{1}{b_k^T E_x} \frac{\partial (a_k^T)}{\partial m^l} - \frac{a_k^T E_x}{(b_k^T E_x)^2} \frac{\partial (b_k^T E_x)}{\partial m^l} \\ &= \left( \frac{1}{b_k^T E_x} \frac{\partial a_k}{\partial m^l} - \frac{a_k^T E_x}{(b_k^T E_x)^2} \frac{\partial b_k}{\partial m^l} \right)^T + \left( \frac{1}{b_k^T E_x} a_k - \frac{a_k^T E_x}{(b_k^T E_x)^2} \frac{\partial (b_k^T E_x)}{\partial m^l} b_k \right)^T \frac{\partial E_x}{\partial m^l} \end{aligned} \quad (2.28)$$

Dengan definisi:

$$c_k = \frac{1}{b_k^T E_x} a_k - \frac{a_k^T E_x}{(b_k^T E_x)^2} b_k \quad (2.29)$$

$$d^{kl} = \frac{1}{b_k^T E_x} \frac{\partial a_k}{\partial m^l} - \frac{a_k^T E_x}{(b_k^T E_x)^2} \frac{\partial b_k}{\partial m^l} \quad (2.30)$$

Dengan menurunkan persamaan (2.30) terhadap  $m$ , maka dihasilkan persamaan (2.31) sebagai berikut:

$$K \frac{\partial X}{\partial m^l} = - \frac{\partial K}{\partial m^l} E_x + \frac{\partial s}{\partial m^l} \quad (2.31)$$

Persamaan (2.29, 2.30, dan 2.31) disubstitusikan ke persamaan (2.28), sehingga dihasilkan matriks Jacobian sebagai berikut:

$$\begin{aligned} J^{kl}(m) &= d_{kl}^T \quad c_k^T K^{-1} \left( \frac{\partial K}{\partial m^l} E_x \quad \frac{\partial s}{\partial m^l} \right) \\ &\quad d_{kl}^T E_x \quad u_k^T \left( - \frac{\partial K}{\partial m^l} E_x \quad \frac{\partial s}{\partial m^l} \right) \end{aligned} \quad (2.32)$$

Perhitungan  $u_k$  sebagai solusi permasalahan *forward modelling*  $K^T u_k = c_k$  memanfaatkan sifat timbal balik dari permasalahan ke depan (simetrisitas matriks sistem  $K$  dan inversinya). Perhitungan  $u_k$  untuk  $k=1, 2, 3, \dots, N$  secara signifikan



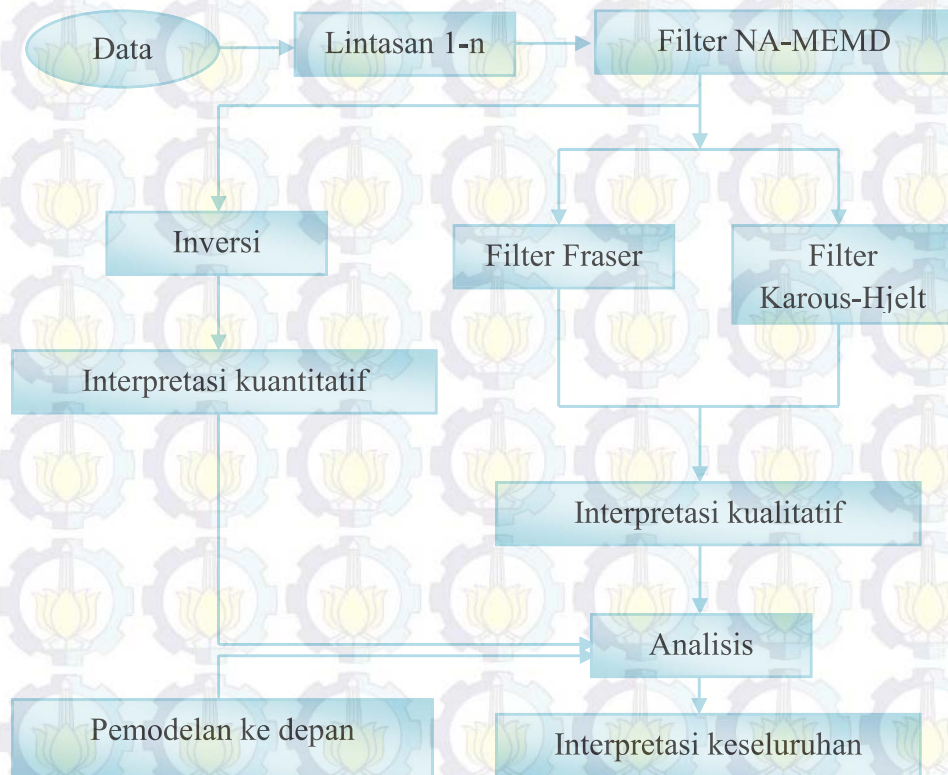
lebih cepat dari pada perhitungan  $K^{-1} \left( -\frac{\partial K}{\partial m^l} E_x + \frac{\partial s}{\partial m^l} \right)$  untuk  $l = 1, 2, 3, \dots, M$  dalam kasus 2-D yang termasuk dalam kasus *underdetermined* (jumlah parameter model melebihi jumlah data atau  $M > N$ ).



## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Rancangan Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir rancangan penelitian

#### 3.2 Perangkat Penelitian

##### 3.2.1 Peralatan

Peralatan yang diperlukan pada akuisisi data di lapangan antara lain:

a. Alat VLF : *Envi Scintrex*



c. Roll meteran





b. Kompas geologi



d. GPS (*Global Positioning System*)



Gambar 3.2 Alat-alat penelitian

### 3.2.2 Perangkat Lunak

Perangkat lunak (*software*) yang digunakan dalam proses pengolahan data sebagai berikut:

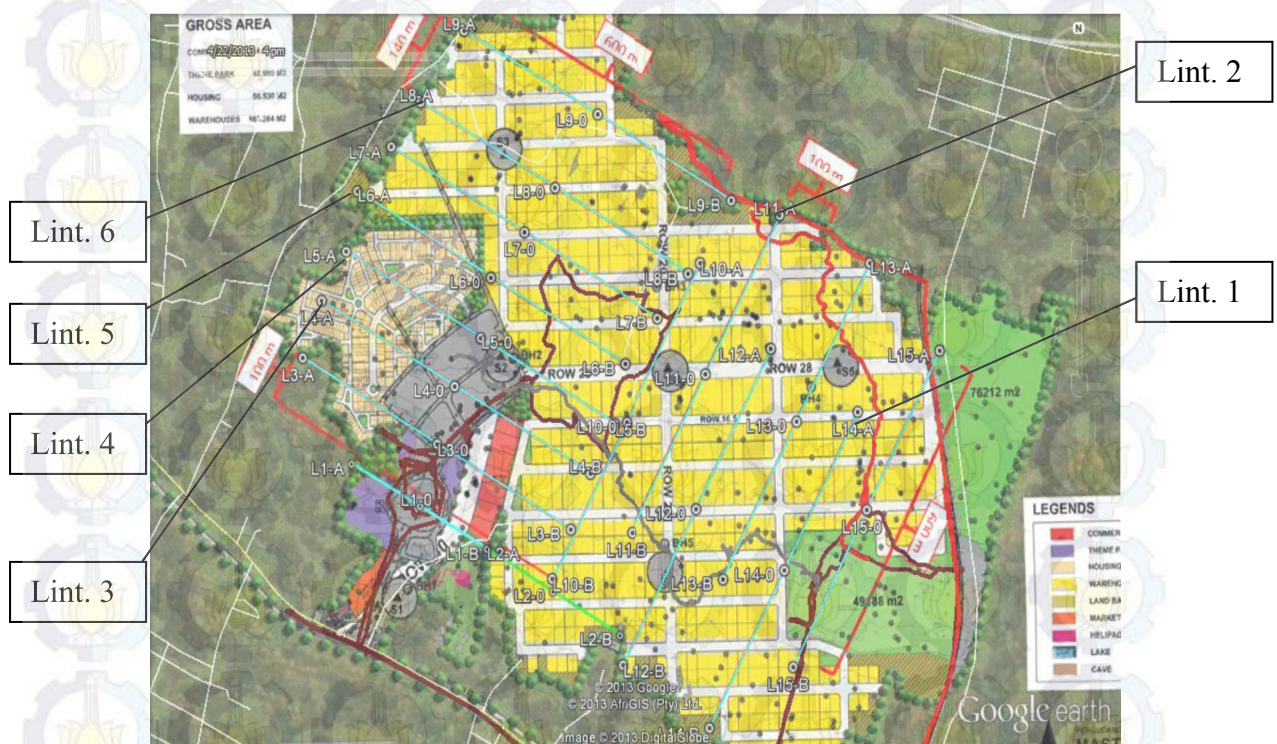
- Microsoft Excel*, yang digunakan untuk menghitung nilai *inphase*, *quadrature*, *T-fild*, dan *tilt*.
- Inv2DVLF*, yang digunakan untuk memodelkan rapat arus ekivalen berdasarkan data tipper (*inphase* dan *quadrature*).
- Matlab R2010a*, yang digunakan untuk menampilkan hasil inversi data VLF dan untuk mengestimasi dan menampilkan hasil filter *inphase*, *quadrature*, *T-fild*, dan *tilt*. Filter yang digunakan pada penelitian ini adalah filter NA-MEMD, filter Fraser, dan filter Karous-Hjelt.

### 3.3 Lokasi Penelitian

Daerah penelitian berada di Desa Melirang, Kecamatan Bungah, Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Secara geografis daerah penelitian ini terletak pada  $7^{\circ}1'41''\text{LS}$  -  $7^{\circ}2'28.81''\text{LS}$  dan  $112^{\circ}31'57.02''\text{BT}$  -  $112^{\circ}32'55.54''\text{BT}$ . Daerah tersebut dengan batas wilayah sebagai berikut:

- |                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| Sebelah Utara   | : Desa Raci Wetan     |
| Sebelah Selatan | : Bengawan Solo       |
| Sebelah Timur   | : Desa Sidorejo       |
| Sebelah Barat   | : Desa Mojopuro Wetan |







### 3.4. Akuisisi Data

Akuisisi data dilakukan di Desa Melirang, Kecamatan Bungah, Kabupaten Gresik dengan teknik konvensional (berdiri) dengan operator menghadap ke pemancar. Pengambilan data lapangan dilakukan pada enam lintasan dengan panjang masing-masing 550 meter, dengan jarak spasi pengukuran 5 meter, dan jarak antar lintasan pengukuran 100, 200, dan 300 meter. Penentuan besar spasi antar lintasan dan spasi antar titik tersebut berdasarkan pertimbangan bahwa diperkirakan batuan dolomit yang ada di bawah permukaan dapat berukuran besar. Pada setiap titik pengukuran, menghidupkan alat VLF-EM dan mencatat data yang terekam oleh *Envi Scintrex*. Data yang diperoleh dari hasil pengukuran VLF-EM, antara lain: *In-phase*, *quadrature*, *t-field* dan *tilt*.

### 3.5. Pengolahan, Analisis, dan Interpretasi Data

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran VLF-EM ditulis kembali ke dalam bentuk *excel*. Data *inphase* dan *quadrature* kemudian dimasukkan ke dalam matlab untuk dilakukan proses filter NA-MEMD. Sebelum dilakukan proses *filtering*, data *inphase* dan *quadrature* ditambahkan 2 *channel white gaussian noise*, pada akhirnya terbentuk data *multivariate* dengan 4 *channel*, dimana *channel white gaussian noise* yang ditambahkan tersebut masing-masing memiliki 2% variansi *inphase* dan *quadrature*. Kemudian 4 *channel* tersebut difilter dengan menggunakan algoritma MEMD. Data hasil *filtering* kemudian diinterpretasi secara kualitatif menggunakan *software Khffilt* (filter Fraser dan Karous-Hjelt) dengan bantuan matlab sehingga dihasilkan profil letak anomali yang lebih konduktif dan resesif. Interpretasi kuantitatif juga dilakukan dengan menggunakan *software Inv2DVLF* untuk mendapatkan rapat arus ekuivalen. *Forward Modelling* menggunakan *prepVLF* dilakukan pada suatu daerah konduktif, sehingga dapat diajukan acuan pada hasil interpretasi. Hasil penelitian ini juga divalidasi dengan menggunakan data geolistrik resistivitas 2D.



## BAB 4

### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Uji Filter NA-MEMD pada Data Sintetik

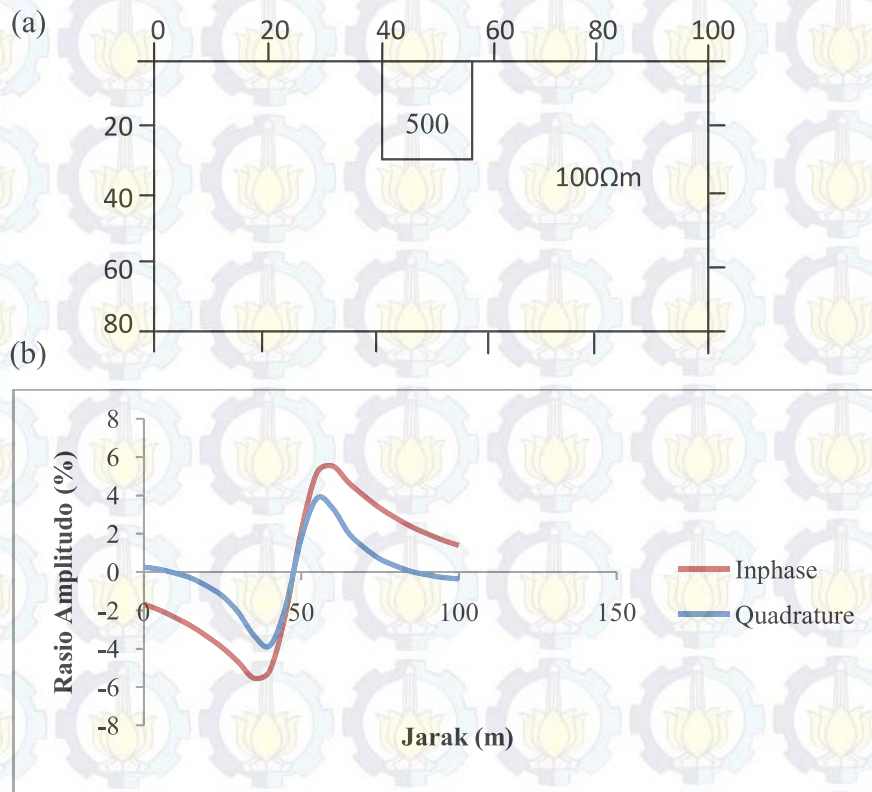
Filter yang digunakan dapat berjalan dengan baik atau tidak, maka diperlukan suatu pengujian terhadap data sintetik VLF-EM. Data sintetik dibentuk, kemudian ditambahkan *noise* dan difilter dengan menggunakan NA-MEMD.

Data sintetik dibentuk menggunakan *software* PrepVLForw-v1 dan Inv2DVLF-v1 yang dibuat oleh Santos (2007). Proses pembentukan data sintetik ini juga disebut sebagai *forward modelling*, karena bersifat memodelkan bentuk lapangan dengan merancang kondisi sesuai sifat lapangan tersebut. Proses pembentukan data diawali menggunakan *software* PrepVLForw-v1 dengan memasukkan data (nama data, jumlah data, frekuensi pengukuran, dan spasi), koordinat (koordinat *finite element* di udara, koordinat lingkungan arah x, koordinat lingkungan arah z, jumlah anomali, resistivitas lingkungan, koordinat anomali, dan resistivitas anomali), dan topografi setiap titik pengukuran. Hasil yang didapatkan akan menjadi masukan untuk proses inversi menggunakan *software* Inv2DVLF-v1. Keluaran dari *software* Inv2DVLF-v1 berupa nilai *inphase* dan *quadrature*.

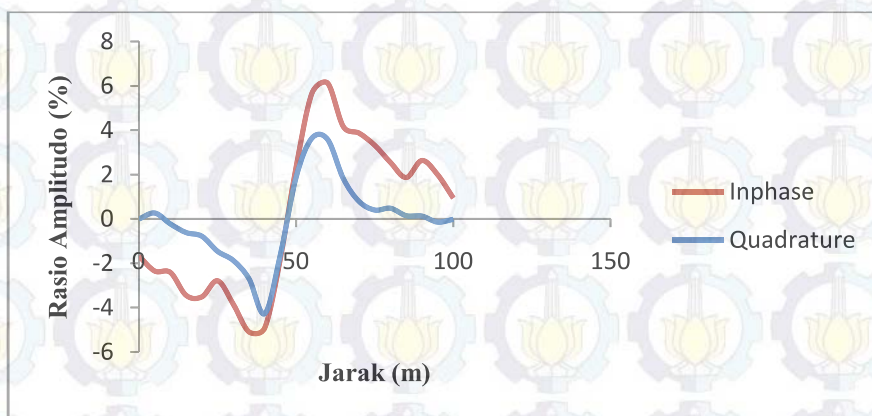
Pada penelitian ini, sebuah model sintetik dibuat dengan jumlah titik pengukuran sebanyak 21 titik, yaitu dari 0 - 100 meter, jarak spasi pengukuran 5 meter, resistivitas lingkungan sebesar 100 ohm meter, dan satu benda konduktif (500 ohm meter pada posisi 40 - 55 meter dan kedalaman 0 - 30 meter). Data sintetik kemudian dibangkitkan pada frekuensi 19,8 kHz. Gambar 4.1 (a) merupakan gambaran model sintetik yang dibuat, sedangkan Gambar 4.1 (b) merupakan sinyal data sintetik yang terdiri dari komponen real dari data tipper (*inphase*) dan komponen imajiner dari data tipper (*quadrature*). Kemudian *noise* ditambahkan pada data sintetik (Gambar 4.2), dimana *noise* yang ditambahkan sebagaimana pada keadaan lapangan, yaitu *white noise*. *Noise* yang ditambahkan cukup besar yaitu dengan SNR (*Signal Noise Ratio*) sebesar 17dB, dimana



penambahan *noise* ini sangat berpengaruh pada hasil interpretasi data VLF. Sinyal + *noise* kemudian difilter dengan menggunakan NA-MEMD dan hasil *filtering* seperti pada Gambar 4.3. Proses *filtering* dilakukan dengan menggunakan 2 channel *noise* tambahan, dimana masing-masing *noise* memiliki variansi sebesar 2% variansi input (*inphase* dan *quadrature*).



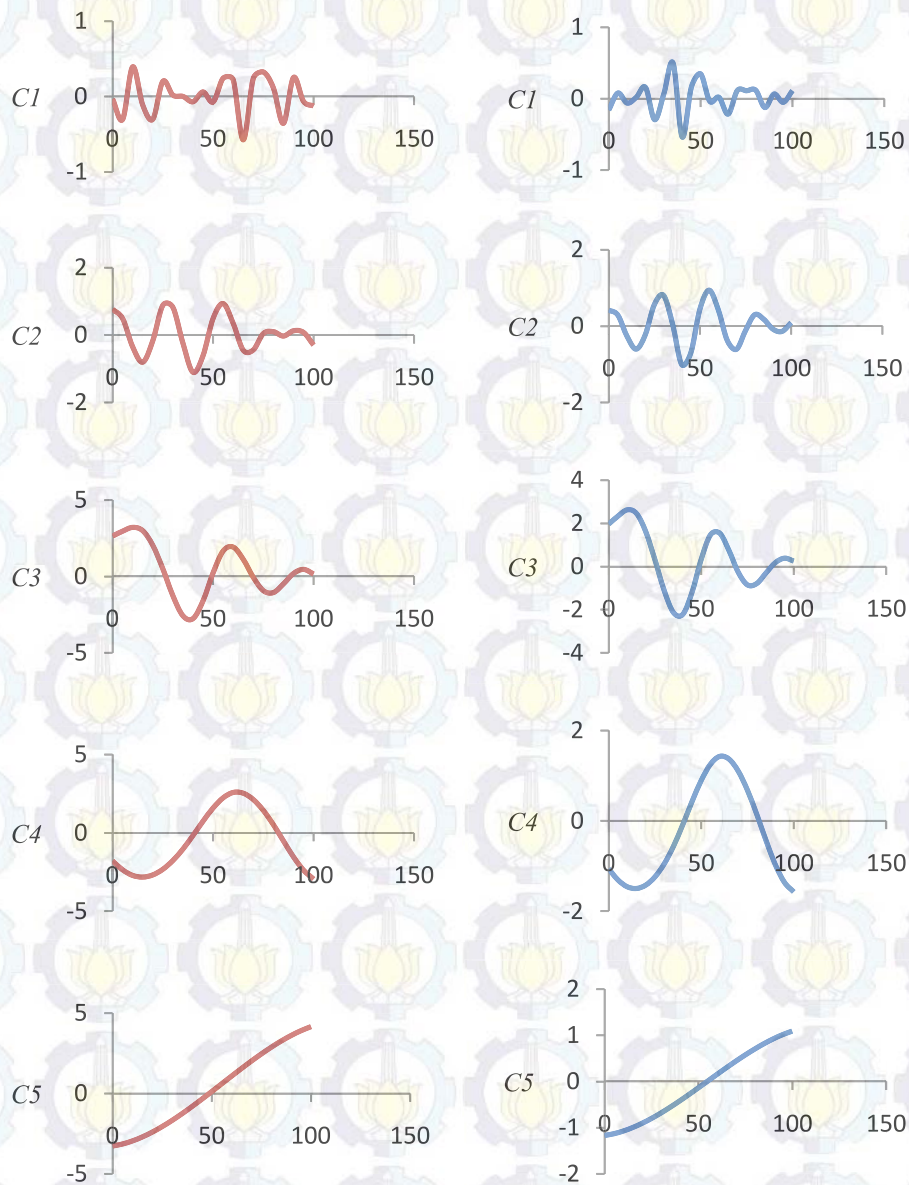
Gambar 4.1 Model sintetis dengan satu benda konduktif  
(a) desain model  
(b) sinyal data sintetis



Gambar 4.2 Sinyal data sintetis ditambahkan *noise* dengan SNR sebesar 17dB

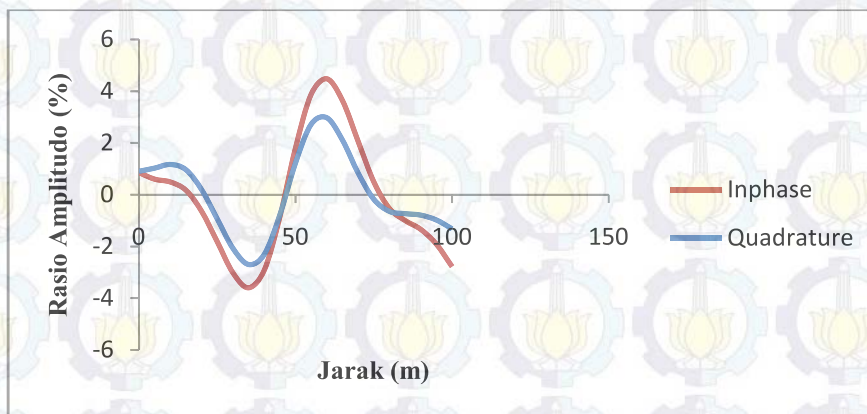


Dengan menerapkan prinsip seleksi yang diusulkan sebelumnya (Jeng *et al.*, 2007), maka komponen  $C_1$  dan  $C_2$  harus dieliminasi, karena menunjukkan distribusi yang kaya akan gelombang harmonik transien (frekuensi tinggi). Oleh karena itu, sinyal VLF-EM dapat direkonstruksi dari  $C_3$  dan  $C_4$ . Dengan menjumlahkan  $C_3$  dan  $C_4$ , maka diperoleh sinyal seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Hasil dekomposisi sinyal data sintetik yang ditambahkan noise dengan menggunakan NA-MEMD (a) *Inphase* (b) *Quadrature*.  $C_1$  sampai  $C_4$  merupakan imf, sedangkan  $C_5$  adalah *residue*.





Gambar 4.4 Hasil *filtering* menggunakan NA-MEMD terhadap data yang ditambahkan *noise*

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa untuk *noise* yang cukup besar, yaitu SNR sebesar 17dB, filter NA-MEMD dapat diterapkan pada sinyal VLF-EM.

#### 4.2. Pengolahan dan Analisis Data Lapangan

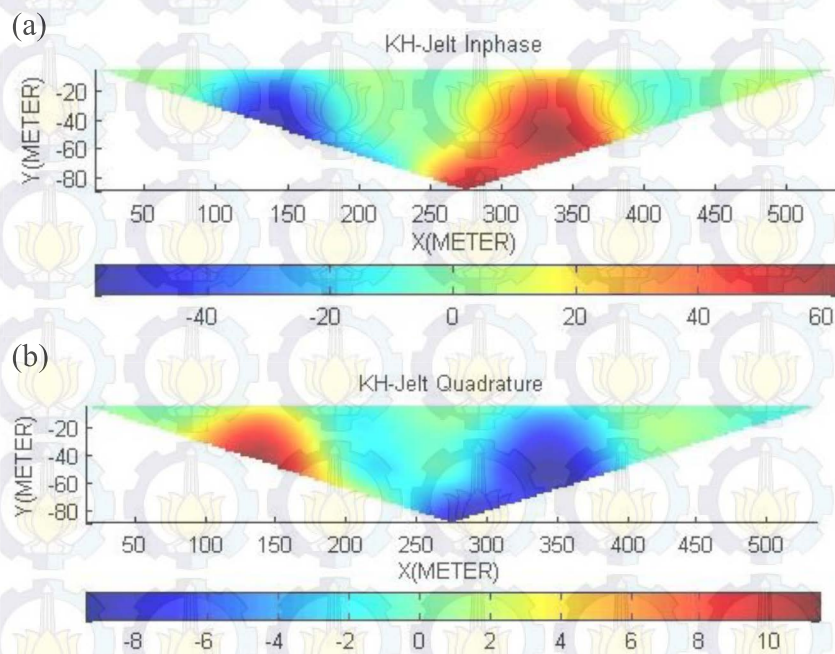
Setelah dilakukan pengujian filter dengan menggunakan data sintetik VLF-EM, selanjutnya dilakukan penerapan filter yang sebelumnya dibentuk untuk pengolahan data lapangan VLF-EM. Data lapangan tersebut diukur di Desa Melirang, Kecamatan Bungah, Kabupaten Gresik pada tanggal 21-26 Desember 2013. Hasil pengukuran ini digunakan untuk mengkarakterisasi bawah permukaan dan menentukan sebaran batuan dolomit. Interpretasi data dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif dengan menggunakan filter Fraser, Karous-Hjelt, dan Inv2DVLF.

Pada sub-bab ini, interpretasi secara kualitatif dilakukan dengan menggunakan filter Karous-Hjelt. Prinsip filter ini untuk menganalisa rapat arus pada berbagai kedalaman dan lokasi yang akan menimbulkan medan magnet yang sama dengan pengukuran VLF-EM, serta memakai teori filter linear untuk memecahkan persamaan integral dari distribusi arus. Hal ini diasumsikan pada lokasi horizontal dari variasi rapat arus pada kedalaman yang sama antar titik pengukuran. Spasi jarak titik-titik data penelitian akan berpengaruh terhadap ketebalan jangkauan arus (persamaan 2.15). Pengambilan data lapangan pada titik-titik pengukuran yang lebih jauh, rapat arus yang dapat dijangkau juga

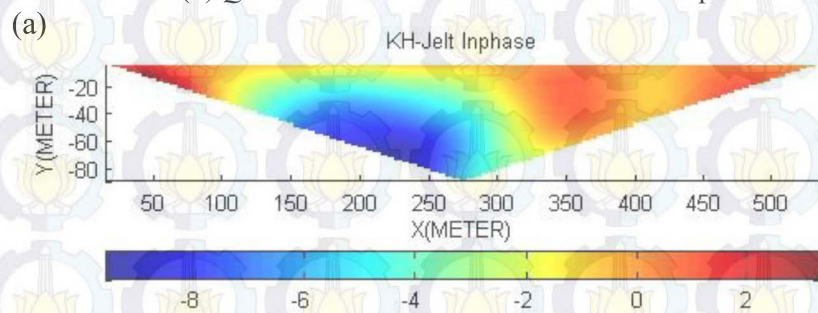


semakin dalam. Berikut hasil interpretasi dan pembahasan pada masing-masing lintasan.

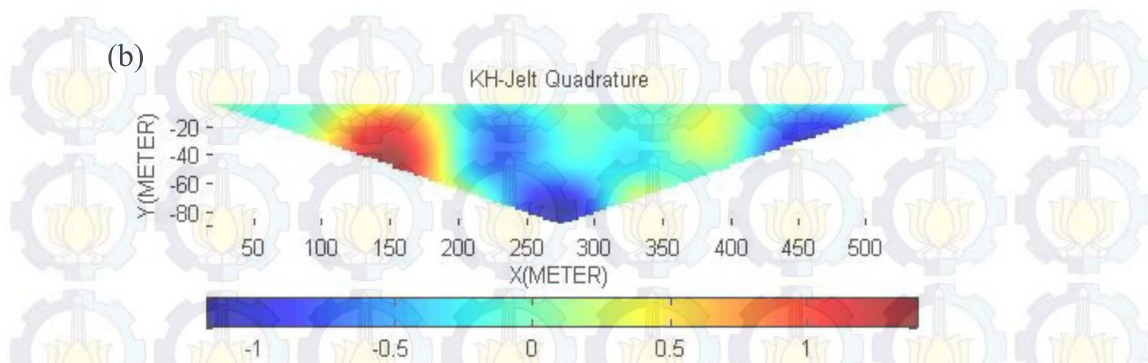
Data pengukuran untuk masing-masing lintasan meliputi: nilai *inphase* dan *quadrature*, spasi yang digunakan pada saat pengukuran sebesar 5 meter dengan titik pengukuran sebanyak 111 titik dan panjang lintasannya sejauh 550 meter. Untuk lintasan 1 dan 2 pada masing-masing koordinat  $7^{\circ}2'10.66''\text{S}$   $112^{\circ}32'42.69''\text{T}$  -  $7^{\circ}2'27.59''\text{S}$   $112^{\circ}32'32.78''\text{T}$  dan  $7^{\circ}1'59.90''\text{S}$   $112^{\circ}32'37.90''\text{T}$  -  $7^{\circ}2'16.80''\text{S}$   $112^{\circ}32'28.00''\text{T}$ , diperoleh rapat arus ekivalen yang dihasilkan oleh filter Karous Hjelt.



Gambar 4.5 Gambar hasil filter Karous Hjelt (a) *Inphase* dan (b) *Quadrature* dari hasil filter NA-MEMD pada lintasan 1.



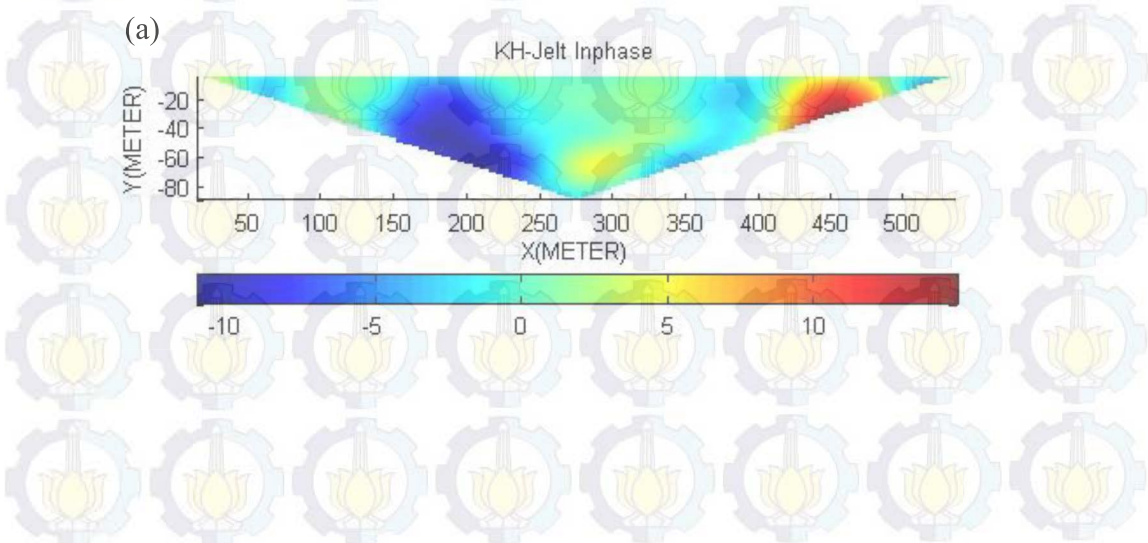




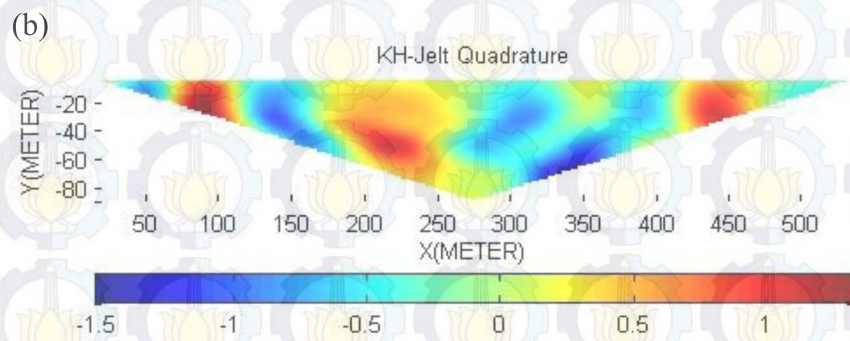
Gambar 4.6 Gambar hasil filter Karous-Hjelt (a) *Inphase* dan (b) *Quadrature* dari hasil filter NA-MEMD pada lintasan 2

Berdasarkan gambar di atas, hasil Karous-Hjelt yang diperoleh pada penelitian ini lebih bersih dari *noise* karena tidak terdapat banyak garis nilai resistivitas. Sehingga tidak muncul ambiguitas yang tinggi ketika menginterpretasikan letak anomali sebagai batuan dolomit. Hasil filter Karous-Hjelt pada lintasan 1, diperoleh sebaran anomali sebagai batuan dolomit pada data *inphase* ditunjukkan dengan warna kuning ke merah pada jarak 240 - 390 meter dan data *quadrature* ditunjukkan dengan warna biru pada jarak 240 - 390 meter. Sedangkan pada lintasan 2 terdapat dua lokasi anomali pada daerah 0 - 100 meter dan 320 - 550 meter.

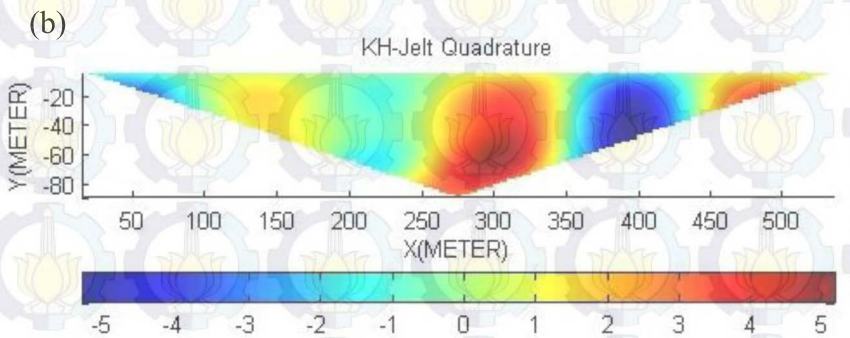
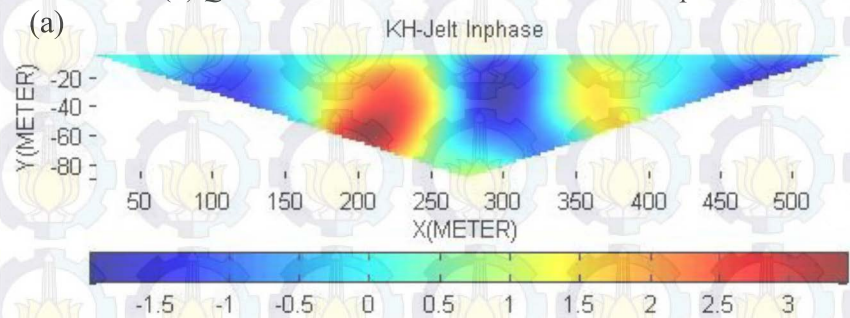
Pada lintasan 3 dan 4, dengan koordinat  $7^{\circ}2'3.90''\text{S}$   $112^{\circ}32'8.36''\text{T}$  -  $7^{\circ}2'13.61''\text{S}$   $112^{\circ}32'25.40''\text{T}$  dan  $7^{\circ}2'1.26''\text{S}$   $112^{\circ}32'9.98''\text{T}$  -  $7^{\circ}2'11.80''\text{S}$   $112^{\circ}32'28.60''\text{T}$ , diperoleh rapat arus ekuivalen yang dihasilkan oleh filter Karous-Hjelt.







Gambar 4.7 Gambar hasil filter Karous-Hjelt (a) *Inphase* dan (b) *Quadrature* dari hasil filter NA-MEMD pada lintasan 3

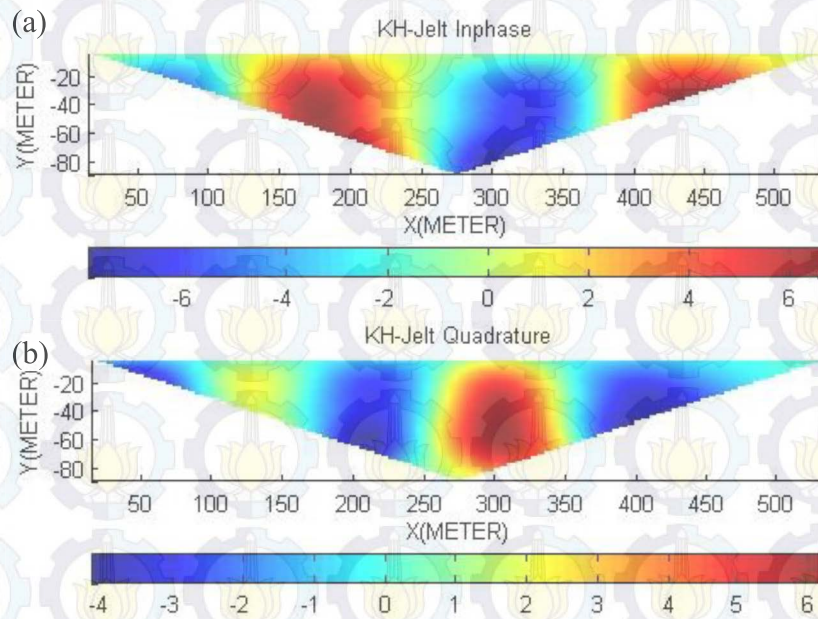


Gambar 4.8 Gambar hasil filter Karous-Hjelt (a) *Inphase* dan (b) *Quadrature* dari hasil filter NA-MEMD pada lintasan 4

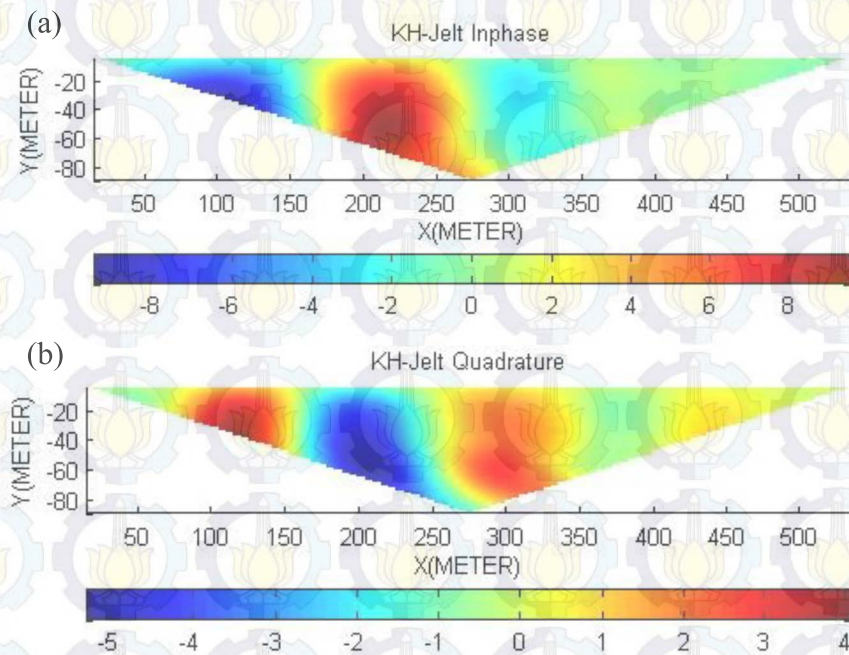
Berdasarkan gambar di atas, hasil filter Karous-Hjelt yang diperoleh pada penelitian ini lebih bersih dari *noise* karena tidak terdapat banyak garis nilai resistivitas. Penggambaran hasil Karous-Hjelt pada lintasan 3 memiliki satu lokasi anomali pada daerah 420 - 480 meter, sedangkan lintasan 4 memiliki dua lokasi anomali pada daerah 170 - 250 meter dan 370 - 390 meter.

Sedangkan untuk lintasan 5 dan 6, dengan koordinat  $7^{\circ}1'58.00''\text{S}$   $112^{\circ}32'10.70''\text{T}$  -  $7^{\circ}2'7.70''\text{S}$   $112^{\circ}32'27.70''\text{T}$  dan  $7^{\circ}1'53.20''\text{S}$   $112^{\circ}32'14.90''\text{T}$  -  $7^{\circ}2'13.61''\text{S}$   $112^{\circ}32'25.40''\text{T}$ , diperoleh rapat arus ekivalen yang dihasilkan oleh filter Karous-Hjelt.





Gambar 4.9 Gambar hasil filter Karous-Hjelt (a) *Inphase* dan (b) *Quadrature* dari hasil filter NA-MEMD pada lintasan 5

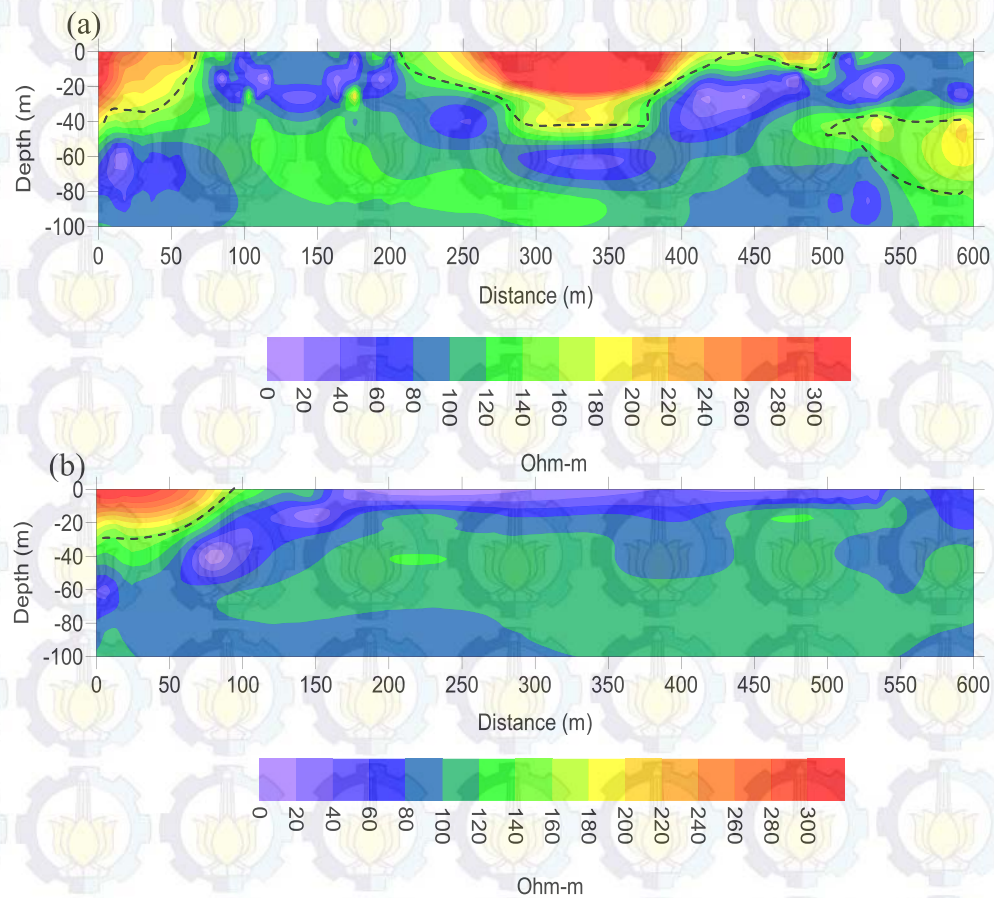


Gambar 4.10 Gambar hasil filter Karous-Hjelt (a) *Inphase* dan (b) *Quadrature* dari hasil filter NA-MEMD pada lintasan 6

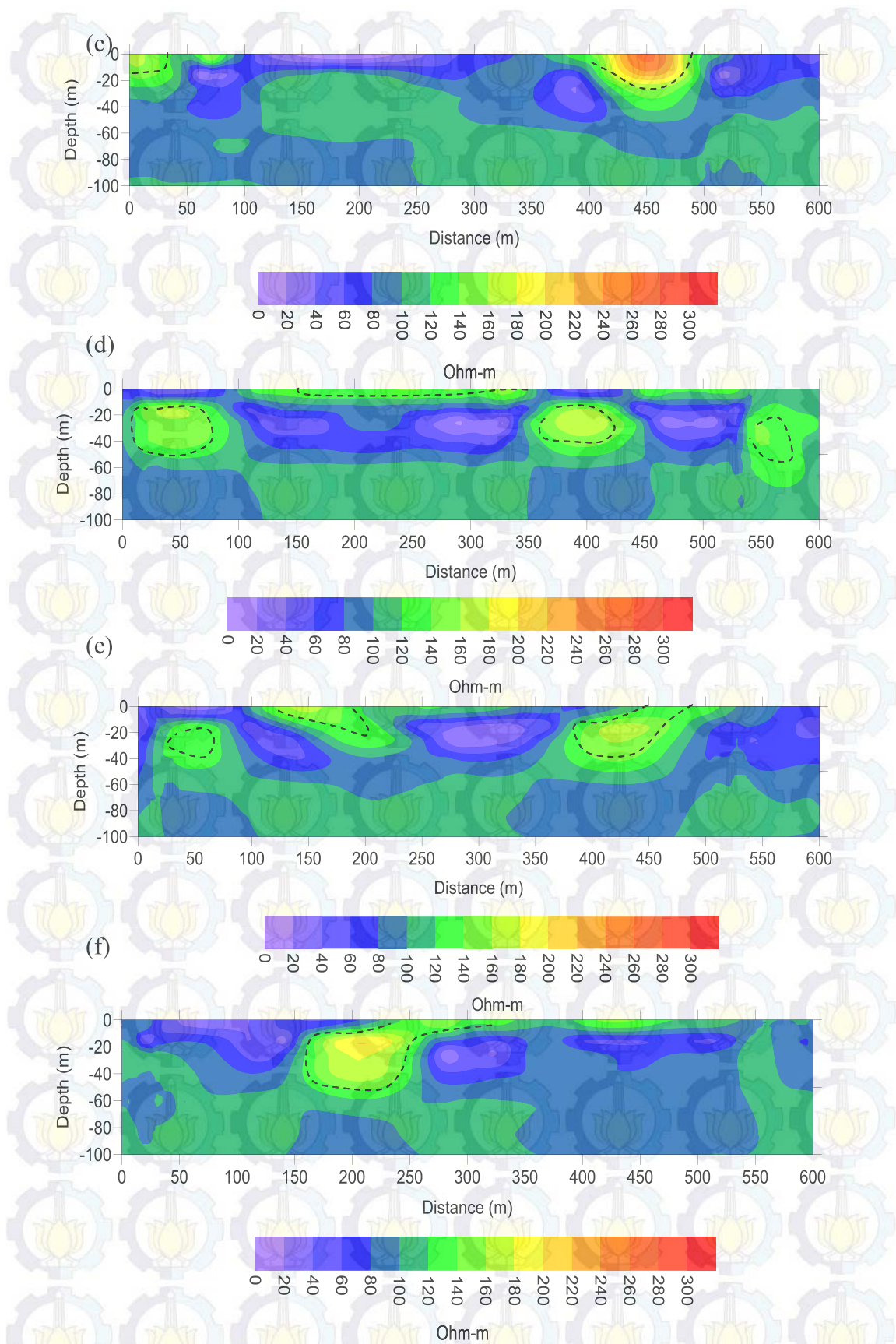
Hasil filter Karous-Hjelt pada lintasan 5 diperoleh dua lokasi anomali pada daerah 120 - 240 meter dan 380 - 500 meter. Sedangkan lintasan 6 memiliki satu lokasi anomali pada daerah 170 - 290 meter.



Model hasil filter Karous-Hjelt memperlihatkan letak anomali yang baik terhadap horizontal, tetapi tidak baik terhadap vertikal dan juga tidak dapat menghasilkan informasi distribusi konduktivitas atau resistivitas sebenarnya pada arah kedalamannya, sehingga data tersebut membutuhkan proses inversi. Inversi bertujuan untuk mendapatkan distribusi konduktivitas atau resistivitas di bawah permukaan yang sebenarnya, sehingga menghasilkan respon sesuai dengan batas resistivitas pada data (Karous dan Hjelt, 1983). Pada penelitian lebih lanjut dengan metode VLF-EM-VGRAD (Gufron, 2010) mengidentifikasi nilai resistivitas batuan dolomit sebesar  $100-10^4$  ohm meter. Sedangkan interpretasi secara kuantitatif dilakukan menggunakan proses inversi dengan bantuan perangkat lunak PrepVLFForw-v1 dan Inv2DVLF-v1 (Monteiro Santos, 2007). Iterasi yang digunakan sebanyak 50 kali. Berikut hasil interpretasi inversi pada masing-masing lintasan.







Gambar 4.11 Hasil inversi data lapangan (a) lintasan 1, (b) lintasan 2, (c) lintasan 3, (d) lintasan 4, (e) lintasan 5, dan (f) lintasan 6



Hasil inversi pada setiap lintasan yang terdapat pada Gambar 4.11, memperlihatkan model yang berkesinambungan antar lintasannya. Pada lintasan 1 terdapat perbedaan warna yang merupakan suatu perbedaan besar resistivitas keadaan lapisan di dalam tanah. Berdasarkan skala terlihat bahwa warna ungu atau biru dan cenderung memperlihatkan sifat resistivitas yang rendah, pada hasil penggambaran memperlihatkan nilai resistivitas rendah tersebar di semua titik pada lintasan 1. Selain itu, untuk warna hijau mengarah ke merah mempunyai nilai resistivitas yang meningkat. Hal tersebut diprediksi bahwa adanya anomali yang berupa batuan dolomit pada jarak 0 - 70 meter dengan kedalaman 0 - 75 meter, jarak 250 - 400 meter dengan kedalaman 0 - 50 meter, dan jarak 540 - 550 meter dengan kedalaman 40 - 60 meter. Nilai resistivitas batuan dolomit antara 120 - 300 ohm meter dan RMS sebesar 7,32. Pada lintasan 2 memperlihatkan nilai resistivitas tinggi pada jarak 0 - 100 meter dengan kedalaman 0 - 35 meter. yang merupakan daerah padang rumput dengan sedikit bebatuan dolomit. Nilai resistivitas batuan dolomit antara 120 - 300 ohm meter dan RMS sebesar 0,63.

Pada lintasan 3 diperoleh nilai resistivitas tinggi terdapat dua lokasi yaitu pada jarak 0 - 50 meter dengan kedalaman 0 - 30 meter dan pada jarak 420 - 480 meter dengan kedalaman 0 - 30 meter. Dimungkinkan anomali tersebut berupa batuan dolomit dengan nilai resistivitasnya antara 120 - 300 ohm meter dan RMS sebesar 0,34. Untuk lintasan 4 tampak warna ungu mengarah ke hijau dan cenderung memperlihatkan sifat resistivitas yang rendah, sedangkan warna kuning mengarah ke merah mempunyai nilai resistivitas yang meningkat. Pada nilai resistivitas yang meningkat diprediksi bahwa adanya anomali yang berupa batuan dolomit pada jarak 10 - 90 meter dengan kedalaman 15 - 50 meter, jarak 110 - 350 meter dengan kedalaman 0 - 15 meter, jarak 360 - 440 meter dengan kedalaman 15 - 50 meter, dan jarak 540 - 550 meter dengan kedalaman 20 - 70 meter. Nilai resistivitas batuan dolomit antara 120 - 170 ohm meter dan RMS sebesar 0,10.

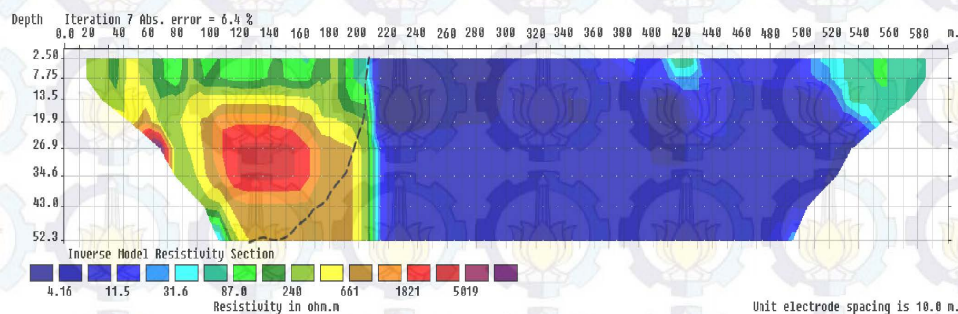
Pada lintasan 5 dan 6, diperoleh warna ungu menuju ke hijau dan cenderung memperlihatkan sifat resistivitas yang rendah, sedangkan warna kuning mengarah ke merah mempunyai nilai resistivitas yang meningkat. Untuk lintasan 5, nilai resistivitas tinggi terdapat tiga lokasi yaitu pada jarak 30 - 60 meter dengan kedalaman 20 - 40 meter, jarak 120 - 240 meter dengan kedalaman 0 - 30



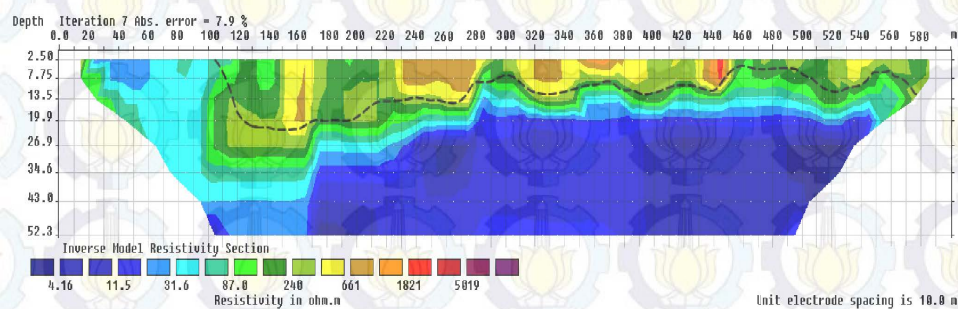
meter, lokasi ini merupakan kebun dengan batuan dolomit yang tersebar merata. Pada jarak 380 - 500 meter dengan kedalaman 15 - 50 meter, lokasi ini merupakan area batu karst (dolomit) dan kebun. Lokasi tersebut merupakan daerah dengan penuh batuan dolomit sehingga menimbulkan pembacaan resistivitas tinggi. Nilai resistivitas batuan dolomit antara 120 - 170 ohm meter dan RMS sebesar 0,04. Sedangkan lintasan 6, nilai resistivitas tinggi terdapat satu lokasi yaitu pada jarak 170 - 290 meter dengan kedalaman 0 - 50 meter. Nilai resistivitas batuan dolomit antara 120 - 200 ohm meter. Lokasi tersebut merupakan daerah tebing dengan penuh batuan dolomit sehingga menimbulkan pembacaan resistivitas tinggi dan RMS sebesar 0,09.

Pada penelitian ini juga, dilakukan pemodelan untuk mengetahui hasil inversi penampang (*pseudosection*) 2D dengan metode geolistrik yang ditunjukkan pada Gambar 4.12.

(a)



(b)



Gambar 4.12 Penampang 2D metode geolistrik (a) lintasan 14 dan  
(b) lintasan 8

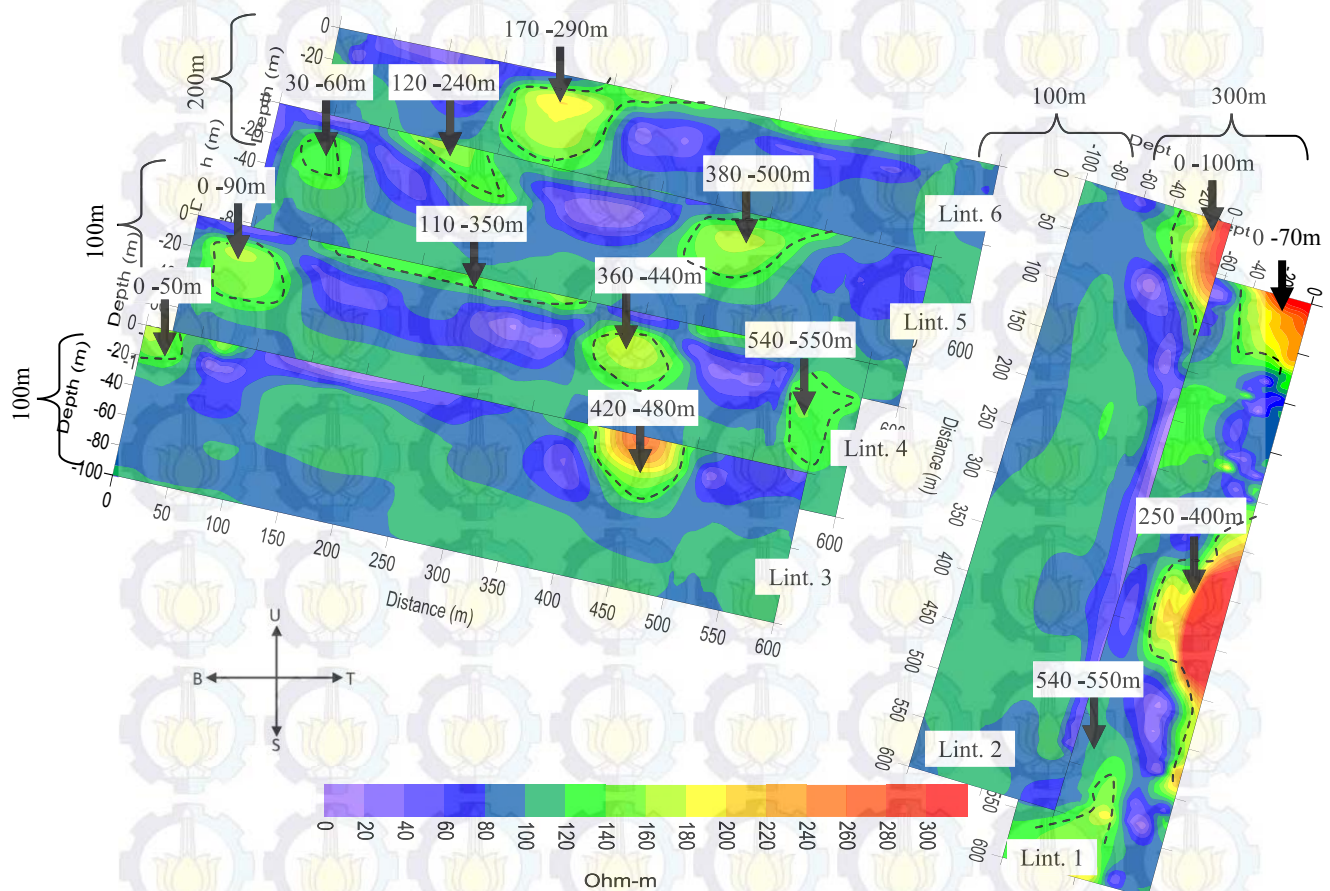
Berdasarkan referensi nilai resistivitas batuan dolomit antara  $10^2$  -  $10^4$  ohm meter. Hasil inversi 2D dengan metode geolistrik pada lintasan 14 dan 8,



diperoleh range nilai resistivitas batuan dolomit antara 240 – 5019 ohm meter dengan RMS 6,4% dan 7,9%. Pada lintasan 14 terdapat titik anomali tertinggi pada jarak 0 – 200 meter dengan kedalaman antara 19,9 – 43,0 meter dan lintasan 8 anomali tertinggi terletak di jarak 100 – 580 meter dengan kedalaman 2,50 – 26,9 meter diinterpretasi sebagai batuan dolomit.

### 4.3 Interpretasi Persebaran

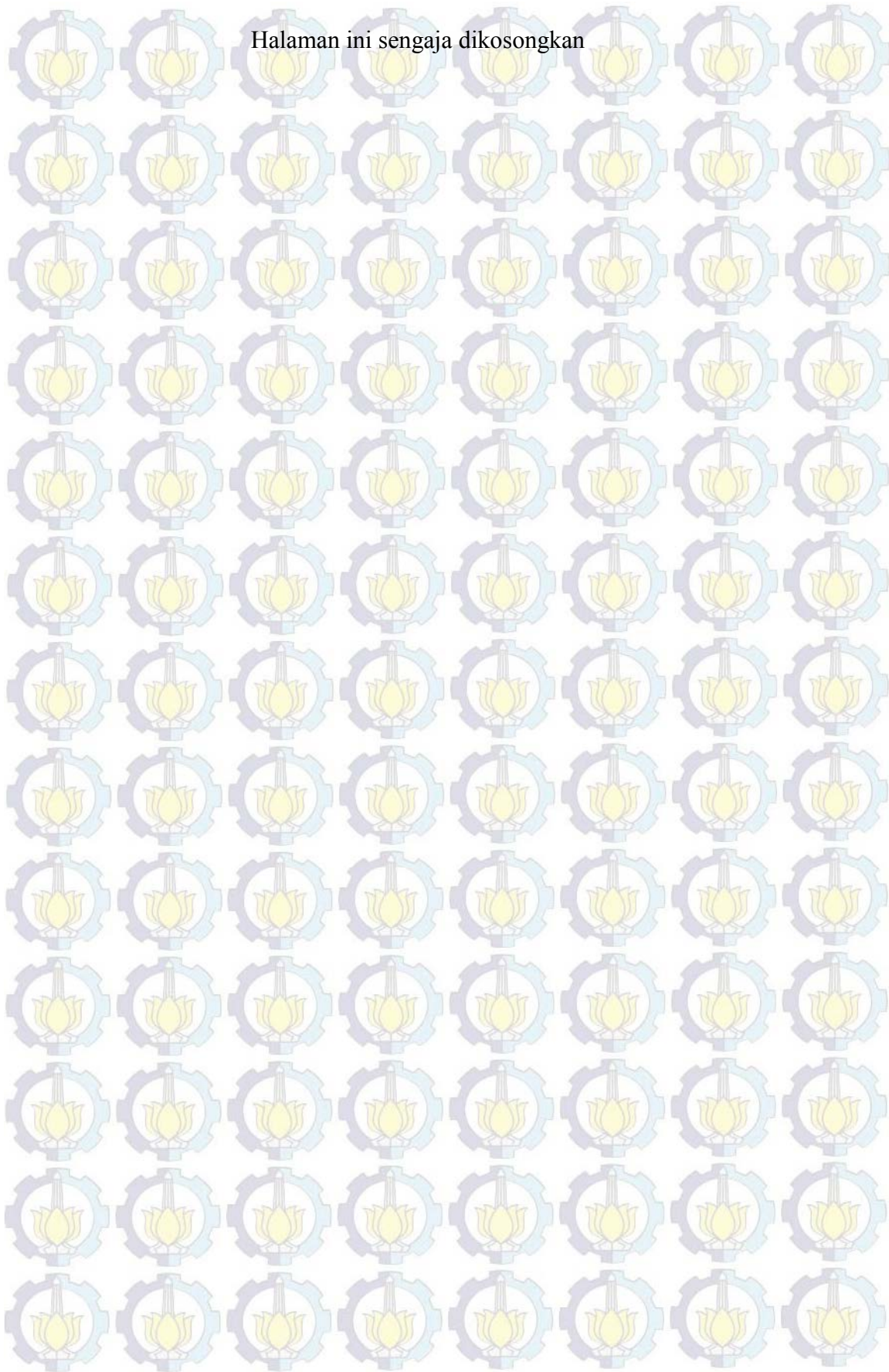
Interpretasi data resistivitas 2-D ini dilakukan di setiap lintasan. Penelitian ini menggunakan enam lintasan yang terdiri dari lintasan 1 dan 2 dengan arah lintasan dari utara ke selatan, sedangkan lintasan 3 sampai 6 dengan arah lintasan timur ke barat. Selanjutnya, dilakukan integrasi hasil interpretasi pada setiap lintasan tersebut dalam satu kesatuan. Hasil integrasi ini digunakan untuk mengetahui arah penyebaran batuan dolomit yang ada di Desa Melirang Kecamatan Bungah Kabupaten Gresik. Jalur batuan dolomit dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Sebaran batuan dolomit lintasan 1 sampai 6



Halaman ini sengaja dikosongkan





## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Tarazi, E., Abu Rajab, J., Al-Naqa, A. dan El-Waheidi, M. (2008), “Detecting Leachate Plumes and Groundwater Pollution at Ruseifa Municipal Landfill utilizing VLF-EM Method”, *Journal of Applied Geophysics*, Vol. 65, No. 3-4, hal. 121–131.
- Bahri, A.S, Santoso, D, Paradimedja, D.D, Tofan RM, Santos, FM.(2008), “Penerapan Metode VLF-EM-Vgrad untuk Memetakan Sungai Bawah Permukaan Daerah Karst”. *Indonesian Scientific Karst*, Yogyakarta, hal. 19-20.
- Bernard, J. dan Valla, P. (1991), “Groundwater Exploration Infissured Media with Electrical and VLF Methods”, *Geoexploration*, Vol. 27, No. 1-2, hal. 81–91.
- Bosch, F.P. dan Muller, I.(2001), “Continuous gradient VLF measurements: a new possibility for high resolution mapping of kars structures”, *First Break*, Vol. 19, hal. 343-350.
- BPS. (2012), “Data Iklim dan Geografi Kabupaten Gresik”, <http://gresikkab.bps.go.id/index.php?hal=tabel&id=1> (Online) diakses 6 Maret 2014.
- DeGroot-Hedlin C. dan Constable S. (1990), “Occam’s inversion to generate smooth, two dimensional models for magnetotelluric data”, *Geophysics*, Vol. 55, No. 12, hal. 1613-1624.
- Febriana, E. (2011), “Kalsinasi Dolomit Lamongan Untuk Pembuatan Kalsium-Magnesium Oksida Sebagai Bahan Baku Kalsium dan Magnesium Karbonat Presipitat”. Skripsi Sarjana Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta.
- Feriadi, Y. (2013), “Aplikasi *Multivariate Empirical Mode Decomposition* pada Metode *Very Low Frequency Electromagnetic* untuk Analisa Tanggul Lumpur Sidoarjo”. Tesis FMIPA ITS, Surabaya.
- Fischer, G., Le Quang, B.V. dan Muller, I. (1983), “VLF Ground Surveys: a Powerful Tool for the Study of Shallow Two-Dimensional Structures”, *Geophysical Prospecting*, Vol. 31, No. 6, hal. 977–991.
- Fraser, D.C. (1969), “Contouring of VLF-EM Data”, *Geophysics*, Vol. 34, No. 6, hal. 958–967.
- Grandis, H. (2009), *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*, Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI).



- Gufron. (2010), "Estimasi Penyebaran Deposit Fosfat di Wilayah Perum Perhutani KPH Pati BKPH Sukolilo Pati dengan Metode *Very Low Frequency Elektromagnetik Vertikal Gradient* (VLF-EM-VGrad)". Tesis FMIPA ITS, Surabaya.
- Holly, I., Kumala, H. S. R., Ardiansyah, D., Rifky, Iqbal, R. M., Dita, S. W., Mei, W. E., Asmodewati, E., dan Widya, A. C. (2013) "Penyebaran, Proses Pembentukan, Eksplorasi, Pengolahan, Dan Pemanfaatan Batuan Dolomit", FMIPA UNM, Malang.
- Huang, N.E., Shen, Z., Long, S.R., Wu, M.C.L., Shih, H.H., Zheng, Q., Yen, N.C., Tung, C.C. dan Liu, H.H. (1998), "The Empirical Mode Decomposition and the Hilbert Spectrum for Nonlinear and Non-Stationary Time Series Analysis", *Proceedings of the Royal Society A*, Vol. 454, No. 1971, hal. 903–995.
- Huang, J.R., Fan, S.Z., Abbod, M.F. Jen, K.K., Wu, J.F. dan Shieh, J.S. (2013), "Application of Multivariate Empirical Mode Decomposition and Sample Entropy in EEG Signals via Artificial Neural Networks for Interpreting Depth of Anesthesia", *Entropy*, Vol. 15, No. 9, hal. 3325-3339.
- Jeng, Y., Lin, M.J. dan Chen, C.S. (2004), "A very low frequency-electromagnetic study of the geo-environmental hazardous areas in Taiwan", *Environmental Geology*, Vol. 46, No. 6-7, hal. 784–795.
- Kaikkonen, P. (1979), "Numerical VLF Modelling" *Geophysical Prospecting*, Vol. 27, hal. 815-834.
- Karous, M. dan Hjelt, S.E. (1983), "Linear Filtering of VLF dip-angle Measurements", *Geophysical Prospecting*, Vol. 31, No. 5, hal. 782–794.
- Kalscheuer, T., Pedersen, L.B. dan Siripunvaraporn, W. (2008), "Radio magnetotelluric Two-Dimensional Forward and Inverse Modelling Accounting for Displacement Currents", *Geophysics Journal International*, Vol. 175, No. 2, hal. 486-514.
- Kok, M.V and Smykatz-Kloss W. (2008), "Characterization, Correlation And Kinetics of Dolomite Samples As Outlined By Thermal Methods", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetri*, vol 91 (2) pp. 565-568.
- Krause, S., V. Liebetrau, S. Gorb, M. Sanchez-Roman, J.A. McKenzie, T. Treude. (2012), "Kieler Meeresforscher zeigen Einfluss von marinen Bakterien auf Mineral-Bildung", <http://www.raonline.ch/pages/edu/ur/steinesg0102.html> (Online) diakses 6Juni 2015.
- Kwon, Y.B. dan Bang, H. (1996), *The Finite Element Method Using MATLAB*, FL : CRC Press, Boca Raton.



Madiadipoera, T. (2006), "Bahan Galian Industri di Indonesia", Pusat Sumber Daya Geologi, Departemen ESDM, Jakarta, hal.1-48.

McNeill, J. D. and Labson, V. F. (1991), "Geological mapping using VLF radio fields", dalam *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics: Volume 2, Application, Part B*, ed. Nabighian, M.N., SEG, Tulsa, hal. 521-640.

Menke, W. (1984), *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory*, Academic Press, San Diego.

Monteiro Santos, F.A., Mateus, A., Figueiras, J., Gonçalves, M.A. (2006), "Mapping Groundwater Contamination around a Landfill Facility using the VLF-EM Method—a Case Study", *Journal of Applied Geophysics*, Vol. 60, No. 2, hal. 115–125.

Nissen, J. (1986), "A versatile electromagnetic modeling program for 2-D structures", *Geophysical Prospecting*, Vol.14, 1099-1110.

Peterson, N.R. dan Ronka, V. (1971), "Five Years of Surveying With The Very Low frequency-Electromagnetic Method", *Geoexploration*, Vol. 9, page 7-26.

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara. (2005), "Data Pertambangan Mineral dan Batubara", <http://www.tekmira.esdm.go.id/data/Dolomit> (Online) diakses 6 Oktober 2014.

Rehman, N. dan Mandic, D. P. (2010), "Multivariate Empirical Mode Decomposition", *Proceedings of the Royal Society A*, 466, No. 2117, hal. 1291–1302.

Rehman, N. dan Mandic, D. P. (2011), "Filter bank Property of Multivariate Empirical Mode Decomposition", *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 59, hal. 2421–2426.

Rodi, W. dan Mackie, R.L. (2001), "Nonlinear Conjugate Gradients Algorithm for 2-D Magnetotelluric Inversion", *Geophysics*, Vol. 66, No. 1, hal. 174-187.

Sari, N., Jalil.Z., dan Rahwanto, A. (2013), "Identification of Oxide Compound in Dolomite Mineral from Aceh Tamiang Region", *Journal of Aceh Physics Society*, SS, Vol. 2, No. 1 pp. 1-2.

Siripunvaraporn, W., Egbert, G., Lenbury, Y. (2002), "Numerical Accuracy of Magnetotelluric Modeling: A Comparison of Finite Difference Approximations", *Earth Planets Space*, Vol. 54, No. 6, hal. 721-725.

Srigutomo, W., Harja, A., Sutarno, D. dan Kagiya, T. (2005), "VLF Data Analysis Through Transformation Into Resistivity Value: Application to Synthetic and Field Data", *Indonesian Journal of Physics*, Vol. 16, No. 4, hal. 127-136.



Sungkono, AS Bahri, DD Warnana, FA Monteiro Santos, BJ Santosa. (2014), "Fast, Simultaneous and Robust VLF-EM Data Denoising and Reconstruction Via Multivariate Empirical Mode Decomposition", *Computers and Geosciences*, Vol. 67, No. 1, hal. 125-138.

Sukardi. (1992), "Peta Geologi Lembar Surabaya dan Sapulu, Jawa". Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Zhdanov, M.S. (2002), *Geophysical Inverse Theory and Regularization Problems*, *Methods in Geochemistry and Geophysics*, Vol. 36, Elsevier, Amsterdam-Boston-London.



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengukuran, pengolahan data, analisis dan pembahasan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

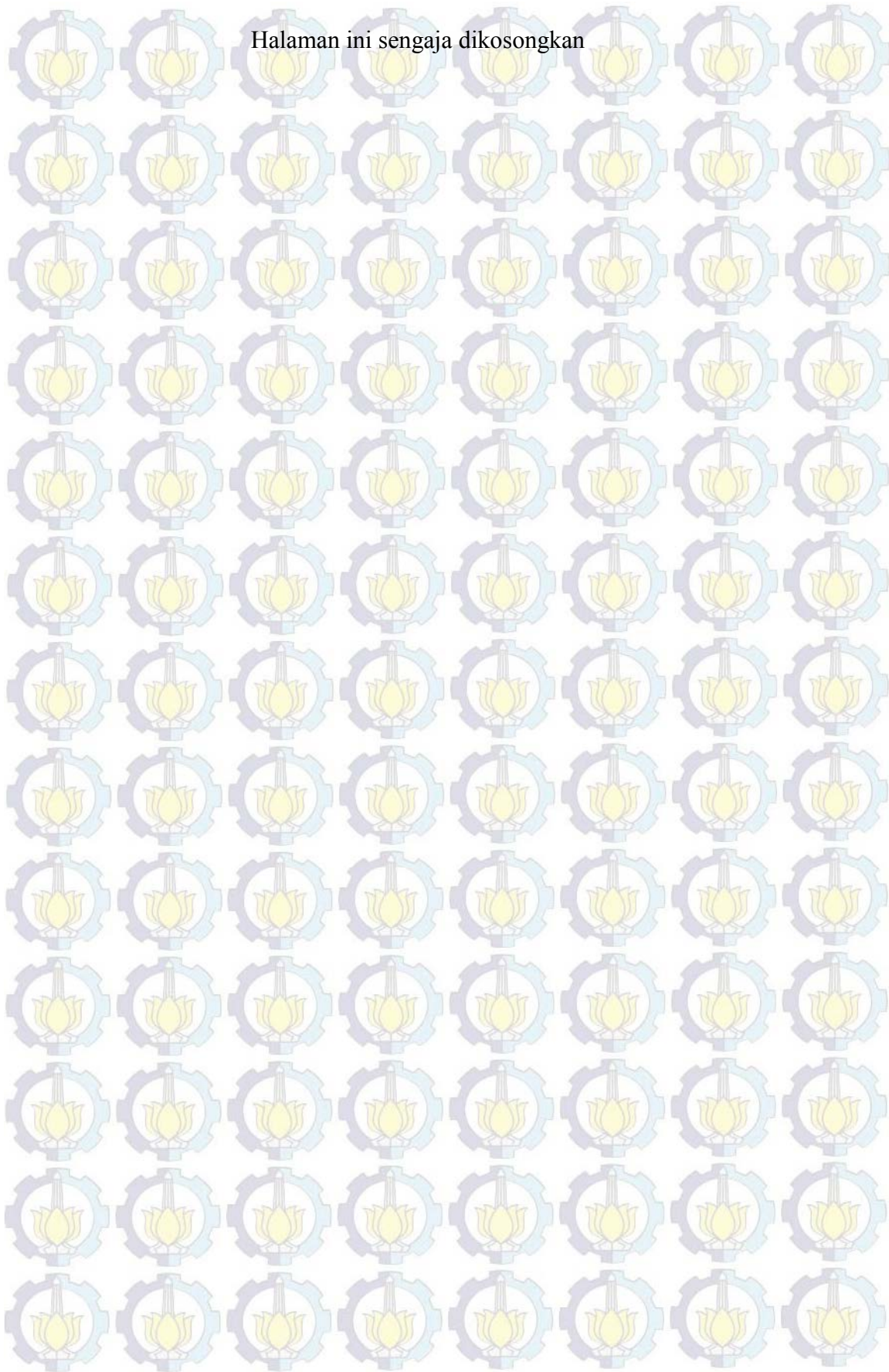
1. Interpretasi data pada lintasan 1 sampai 6 daerah penelitian menunjukkan sebaran batuan dolomit dengan nilai resistivitas 120 – 300 ohm meter terletak pada kedalaman dangkal antara 0 – 30 meter dan berikutnya pada kedalaman 50 – 70 meter.
2. Sebaran batuan dolomit di lintasan 1 pada jarak 0 - 70 meter, 250 - 400 meter, dan 540 - 550 meter, lintasan 2 pada jarak 0 - 100 meter, lintasan 3 pada jarak 0 - 50 meter dan 420 - 480 meter, lintasan 4 pada jarak 0 - 90 meter, 110 - 350 meter, 360 - 440 meter, dan 540 - 550 meter, lintasan 5 pada jarak 30 - 60 meter, 120 - 240 meter, 380 - 500 meter, dan lintasan 6 pada jarak 170 - 290 meter.
3. Validasi dengan data geolistrik resistivitas 2D pada lintasan 8 dan 14 menunjukkan kesamaan sebaran anomali resistivitas dan rapat arus ekuivalen pada posisi yang diinterpretasi sebagai batuan dolomit.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, hasil penelitian ini dapat menjadi sumber acuan untuk penelitian selanjutnya dalam penentuan sebaran batuan dolomit baik posisi maupun kedalaman di daerah penelitian. Supaya penentuan sebaran batuan dolomit di daerah penelitian menjadi lebih baik, disarankan menggunakan pemodelan 3D.



Halaman ini sengaja dikosongkan





## LAMPIRAN A : Data Pengukuran VLF

### Lampiran 1 : Data Pengukuran Lintasan 1

Nama Lintasan : Line 1 (L14A-L14B)  
 Lokasi Survei : Gua Cincin, Desa Melirang, Kec Bungah, Kab. Gresik  
 Tanggal : 23 Desember 2013/ 09.30 WIB  
 Arah Pengukuran : Utara - Selatan  
 Spasi / Frekuensi : 5 m / 19,8 kHz  
 Koordinat Lintasan : 7° 2'10.66"S 112°32'42.69"T-7°2'27.59"S 112°32'32.78"T

No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
1	0	103,6	-16,5	2,3	46,4	2	2	38,039	-10,968
2	5	107,6	-16,1	2,5	47,4	2	2	37,374	-11,036
3	10	104,3	-20,3	2,3	46,7	2	2	36,778	-11,021
4	15	92,1	-18,1	2,3	43,1	2	2	36,302	-10,922
5	20	86,9	-20,4	2,3	45,1	2	2	35,99	-10,737
6	25	86,2	-18,9	2,3	44,8	2	2	35,882	-10,472
7	30	93,8	-18,6	2,3	43,7	2	2	36,008	-10,148
8	35	100,6	-21,7	2,3	45,9	2	2	36,381	-9,791
9	40	102,2	-5,6	2,3	45,6	2	2	37,001	-9,428
10	45	115,6	-28,6	2,2	50,1	2	2	37,865	-9,082
11	50	97,2	-20,4	2,2	44,8	4	2	38,966	-8,777
12	55	108,7	-18,8	2,2	47,8	2	2	40,274	-8,532
13	60	111,6	-23,2	2,3	48,8	2	2	41,711	-8,352
14	65	110,2	-7,2	2,3	47,8	2	2	43,163	-8,233
15	70	95,7	-7,7	2,3	43,8	2	2	44,491	-8,164
16	75	110,1	-9,2	2,4	47,8	2	2	45,542	-8,123
17	80	92,5	-9,1	2,2	42,9	2	2	46,161	-8,081
18	85	107,4	-19,4	2,3	47,5	2	2	46,21	-8,003
19	90	103,0	-20,6	2,2	46,4	3	2	45,577	-7,846
20	95	97,0	-16,6	2,2	44,5	3	2	44,176	-7,571
21	100	85,6	-6,8	2,3	40,6	2	2	41,949	-7,146
22	105	105,0	-16,3	2,3	46,7	2	2	38,847	-6,551
23	110	88,2	-7,8	2,3	41,5	2	2	34,833	-5,767
24	115	105,1	-12,0	2,5	46,6	2	2	29,884	-4,781
25	120	87,4	-7,4	2,3	41,2	2	2	24,027	-3,59
26	125	87,6	-17,8	2,3	41,7	4	2	17,327	-2,201
27	130	107,0	-21,0	2,3	47,5	2	2	9,934	-0,645
28	135	106,3	-24,6	2,3	47,5	3	2	2,076	1,021
29	140	33,7	3,0	6,2	18,6	2	3	-5,993	2,731



No.	Jarak (m)	Data Lapangan				Hasil Filter NA-MEMD			
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
30	145	20,5	3,3	5,4	11,6	3	3	-14,017	4,416
31	150	24,0	4,9	5,7	13,5	2	3	-21,739	6,009
32	155	19,8	5,5	5,8	12,2	2	3	-28,901	7,442
33	160	16,9	6,8	6,0	9,6	2	3	-35,271	8,654
34	165	30,9	6,5	5,9	17,2	2	3	-40,682	9,613
35	170	13,5	4,2	5,7	7,8	2	2	-45,045	10,307
36	175	10,7	3,7	5,7	6,0	2	2	-48,318	10,739
37	180	23,4	2,3	5,2	13,2	2	2	-50,507	10,923
38	185	19,7	0,0	5,9	11,1	3	3	-51,64	10,876
39	190	13,2	1,6	5,6	7,5	4	3	-51,782	10,624
40	195	19,5	1,3	5,5	11,0	3	2	-51,076	10,201
41	200	16,1	1,2	5,9	9,1	3	3	-49,72	9,651
42	205	14,5	0,5	5,3	8,2	4	2	-47,945	9,021
43	210	12,8	1,4	5,5	7,3	3	2	-46,007	8,367
44	215	11,1	2,3	5,7	6,3	4	2	-44,168	7,744
45	220	13,4	1,8	5,5	7,6	3	2	-42,645	7,2
46	225	12,4	2,4	5,4	7,0	2	2	-41,56	6,757
47	230	14,2	2,2	5,3	8,0	2	2	-40,978	6,417
48	235	28,2	0,9	5,1	15,7	3	2	-40,933	6,178
49	240	21,1	1,6	5,1	11,9	2	2	-41,436	6,031
50	245	25,6	-0,2	5,2	14,3	4	2	-42,461	5,968
51	250	28,4	0,7	5,5	15,8	3	2	-43,907	5,975
52	255	24,3	-2,1	4,9	13,6	3	2	-45,612	6,039
53	260	18,2	-0,3	4,7	6,5	2	2	-47,405	6,153
54	265	22,2	2,4	4,3	-12,2	2	2	-49,112	6,308
55	270	13,7	-3,8	4,1	7,8	2	2	-50,557	6,496
56	275	5,5	0,4	4,6	-2,0	2	2	-51,566	6,704
57	280	3,8	0,6	4,8	-2,4	2	2	-51,962	6,914
58	285	4,7	0,4	5,0	1,6	2	2	-51,571	7,101
59	290	5,7	1,1	5,8	2,1	2	2	-50,232	7,236
60	295	6,1	1,2	6,0	3,3	2	3	-47,806	7,286
61	300	28,2	1,3	5,8	15,7	2	3	-44,189	7,215
62	305	20,9	0,8	9,7	11,8	3	5	-39,359	6,994
63	310	26,5	0,0	7,9	14,8	2	4	-33,403	6,601
64	315	36,6	1,2	9,4	20,1	2	3	-26,481	6,022
65	320	32,3	0,1	9,3	17,9	2	3	-18,804	5,253
66	325	33,8	1,0	9,5	18,6	2	4	-10,599	4,3
67	330	70,2	3,2	2,7	53,1	3	2	-2,099	3,186
68	335	67,4	-2,0	3,2	54	3	2	6,456	1,948



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
69	340	71,4	-2,6	2,8	35,5	2	2	14,824	0,627
70	345	104,0	-10,6	2,5	46,2	2	2	22,762	-0,73
71	350	110,2	-10,8	2,3	47,9	2	2	30,029	-2,069
72	355	107,1	-8,2	2,5	47	2	2	36,387	-3,337
73	360	94,4	-6,4	2,4	43,4	2	2	41,639	-4,485
74	365	123,3	-12,3	2,4	51,1	2	2	45,727	-5,48
75	370	117,4	-10,9	2,4	49,7	2	2	48,681	-6,306
76	375	109,0	-19,1	2,3	52,6	2	2	50,564	-6,954
77	380	106,9	-10,8	2,4	47	2	2	51,454	-7,422
78	385	111,8	-11,0	2,4	48,3	2	2	51,436	-7,712
79	390	106,3	-11,5	2,5	46,9	2	2	50,603	-7,832
80	395	90,5	-8,0	2,5	42,2	2	2	49,065	-7,804
81	400	116,9	-10,4	2,4	49,6	2	2	46,967	-7,656
82	405	118,4	-8,4	2,4	49,9	2	2	44,483	-7,414
83	410	107,9	-12,0	2,3	47,7	2	2	41,797	-7,107
84	415	101,8	-13,1	2,3	45,7	2	2	39,092	-6,759
85	420	96,9	-10,0	2,4	44,2	2	2	36,538	-6,394
86	425	111,3	-10,5	2,4	48,2	2	2	34,267	-6,033
87	430	94,3	-7,5	2,4	43,4	2	2	32,338	-5,686
88	435	96,3	-8,3	2,4	44	2	2	30,774	-5,358
89	440	102,1	-12,1	2,4	45,8	2	2	29,594	-5,051
90	445	97,9	-7,1	2,3	44,4	2	2	28,815	-4,769
91	450	85,1	-10,5	2,7	40,5	2	2	28,451	-4,517
92	455	80,1	-7,7	2,4	38,8	3	2	28,515	-4,306
93	460	99,3	-10,0	2,3	44,9	2	2	29,004	-4,145
94	465	86,3	-9,4	2,4	40,9	4	2	29,887	-4,045
95	470	74,5	-6,7	2,4	36,7	2	2	31,102	-4,013
96	475	90,3	-12,6	2,2	42,9	2	2	32,577	-4,049
97	480	110,8	-4,6	2,5	47,9	2	2	34,237	-4,156
98	485	115,5	-7,7	2,3	49,2	2	2	36	-4,332
99	490	114,1	-8,1	2,4	48,8	2	2	37,787	-4,578
100	495	102,4	-5,3	2,2	45,7	2	2	39,528	-4,888
101	500	87,1	-7,9	2,4	41,1	2	2	41,18	-5,255
102	505	116,5	-8,1	2,4	49,4	2	2	42,714	-5,661
103	510	110,8	-14,0	2,4	48,2	2	2	44,11	-6,089
104	515	109,9	-11,3	2,3	47,8	2	2	45,355	-6,52
105	520	89,4	-7,6	2,3	41,9	2	2	46,436	-6,94
106	525	104,4	-16,1	2,3	46,6	2	2	47,348	-7,332
107	530	108,3	-12,0	2,2	47,4	2	2	48,094	-7,683



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
108	535	125,9	-9,2	2,3	51,6	2	2	48,675	-7,983
109	540	109,9	-7,0	2,3	47,7	2	2	49,092	-8,218
110	545	124,3	-15,6	2,3	51,4	2	2	49,343	-8,38
111	550	105,0	-7,9	2,3	46,4	2	2	49,422	-8,461



## Lampiran 2 : Data Pengukuran Lintasan 2

Nama Lintasan : Line 2 (L11A-L11B)  
 Lokasi Survei : Gua Cincin, Desa Melirang, Kec Bungah, Kab. Gresik  
 Tanggal : 24 Desember 2013/ 07.00 WIB  
 Arah Pengukuran : Utara - Selatan  
 Spasi / Frekuensi : 5 m / 19,8 kHz  
 Koordinat Lintasan : 7° 1'59.90"S 112°32'37.90"T-7°2'16.80"S 112°32'28.00"T

No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
1	0	10,8	1,2	78,4	6,1	2	6	7,188255	0,386063
2	5	20,2	1,6	77,1	11,4	4	5	8,059241	0,378311
3	10	29,7	1,2	77,1	16,5	4	5	8,990102	0,370561
4	15	25,2	1,3	76,7	14,1	2	5	9,963213	0,360038
5	20	40,7	1,6	77,1	22,1	2	4	10,95881	0,344657
6	25	26,8	1,6	76,9	15,0	5	4	11,9578	0,323361
7	30	28,4	1,3	77,0	15,8	5	4	12,94253	0,295917
8	35	27,0	1,2	76,6	14,9	2	4	13,89615	0,262443
9	40	25,4	1,4	75,4	14,2	4	5	14,80264	0,223263
10	45	36,7	0,8	76,5	20,1	2	4	15,6477	0,178945
11	50	33,3	0,7	76,3	18,4	4	4	16,41905	0,13023
12	55	44,3	1,0	76,5	23,9	2	3	17,10709	0,078167
13	60	46,3	1,0	77,0	24,8	2	3	17,70475	0,02417
14	65	33,0	0,6	77,2	18,2	2	4	18,20695	-0,02999
15	70	28,2	0,0	76,9	15,7	2	5	18,61065	-0,08237
16	75	33,3	0,3	76,2	18,4	2	4	18,91418	-0,13087
17	80	34,7	0,4	76,3	19,1	2	4	19,11684	-0,17329
18	85	22,9	0,4	76,2	12,9	2	5	19,21866	-0,20729
19	90	31,8	0,8	76,1	17,6	2	4	19,22106	-0,2302
20	95	37,7	0,9	75,5	20,6	2	4	19,12792	-0,23865
21	100	34,9	0,9	74,2	19,2	2	4	18,94688	-0,22879
22	105	32,7	1,1	73,8	18,1	2	4	18,68948	-0,19755
23	110	44,6	1,1	73,7	24,0	2	3	18,36987	-0,14302
24	115	36,8	1,1	73,6	20,2	2	4	18,00007	-0,0641
25	120	26,4	0,4	71,3	14,8	2	5	17,5891	0,039799
26	125	35,0	0,9	72,1	19,3	2	4	17,14405	0,168815
27	130	18,5	0,9	70,4	10,5	2	7	16,67112	0,322949
28	135	34,1	1,2	68,7	18,8	2	3	16,17521	0,501686
29	140	20,2	1,6	69,0	11,4	2	6	15,65836	0,702346
30	145	19,8	1,2	68,8	11,2	4	5	15,11995	0,918553
31	150	26,1	2,0	67,9	14,6	2	4	14,55858	1,14218



No.	Jarak (m)	Data Lapangan				Hasil Filter NA-MEMD			
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
32	155	35,6	2,4	66,6	19,6	2	3	13,97324	1,364533
33	160	22,6	1,9	66,6	12,7	2	4	13,36306	1,576821
34	165	31,1	2,9	68,4	17,2	3	4	12,72719	1,77053
35	170	27,7	2,4	72,2	15,5	4	4	12,06462	1,938308
36	175	27,6	2,5	74,0	15,4	2	4	11,37593	2,075545
37	180	27,9	2,2	76,1	15,6	2	4	10,66567	2,180605
38	185	28,3	2,0	77,5	15,8	3	5	9,940322	2,252922
39	190	27,8	2,6	76,3	15,5	2	4	9,207194	2,292194
40	195	11,3	3,2	76,8	6,5	4	7	8,473806	2,298349
41	200	27,0	3,5	76,2	15,1	3	5	7,747773	2,271717
42	205	9,6	2,4	76,1	5,5	3	7	7,036696	2,213009
43	210	10,4	3,4	75,3	5,9	5	9	6,347662	2,123697
44	215	13,6	4,1	75,8	7,8	4	6	5,685716	2,007115
45	220	14,5	4,5	75,7	8,2	2	5	5,051525	1,86936
46	225	14,0	3,1	76,0	8,0	2	6	4,442222	1,717727
47	230	15,4	1,9	75,5	8,7	3	6	3,854025	1,559816
48	235	23,3	2,2	76,7	13,1	2	6	3,282729	1,403236
49	240	17,3	2,1	76,2	9,8	2	6	2,723917	1,255501
50	245	7,2	0,9	76,1	4,1	4	5	2,173288	1,123746
51	250	16,5	0,2	76,1	9,4	2	5	1,627109	1,014039
52	255	11,1	0,8	76,2	6,3	4	6	1,083259	0,930721
53	260	18,3	1,3	76,7	10,3	2	7	0,543059	0,874918
54	265	24,2	0,8	74,9	13,6	2	5	0,012079	0,844344
55	270	0,8	1,1	75,7	0,4	6	8	-0,5032	0,835481
56	275	-2,5	-0,8	73,8	-1,4	4	9	-0,99608	0,844298
57	280	-3,5	0,9	72,1	-1,9	3	9	-1,4589	0,865923
58	285	0,0	2,0	72,6	0,0	5	9	-1,88335	0,894599
59	290	6,3	2,8	73,1	3,6	4	8	-2,26115	0,924225
60	295	23,8	2,7	73,0	13,4	4	4	-2,58416	0,948751
61	300	0,0	3,1	74,7	0,0	5	9	-2,84503	0,962986
62	305	3,9	3,3	75,0	2,2	2	5	-3,03935	0,963986
63	310	-3,2	2,2	78,1	-1,8	4	9	-3,16715	0,950869
64	315	3,8	1,0	77,9	2,2	3	9	-3,22938	0,924197
65	320	12,7	-0,2	77,7	7,2	3	5	-3,22712	0,885609
66	325	-4,5	-2,5	77,4	-2,5	4	9	-3,16198	0,837307
67	330	-2,0	-1,5	74,5	-1,1	4	9	-3,03619	0,781803
68	335	17,5	5,1	71,1	9,9	2	4	-2,85406	0,72238
69	340	20,8	5,1	74,8	11,8	2	6	-2,62556	0,663976
70	345	2,6	2,8	75,7	1,5	3	6	-2,3633	0,612721



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
71	350	-19,3	-0,3	75,2	-10,9	2	7	-2,0794	0,575359
72	355	6,2	-0,8	72,6	3,5	4	9	-1,78618	0,558526
73	360	-1,7	-1,3	71,3	-0,9	4	9	-1,49819	0,567669
74	365	3,3	-1,7	70,1	1,9	4	9	-1,23345	0,605929
75	370	20,5	0,7	71,1	11,6	2	6	-1,00962	0,672283
76	375	9,4	1,1	70,5	5,2	2	3	-0,83988	0,760628
77	380	-9,1	1,4	72,3	-5,2	5	9	-0,73323	0,862269
78	385	8,7	3,1	69,3	5,0	4	6	-0,69631	0,968163
79	390	3,2	4,1	69,9	1,8	4	5	-0,73303	1,069905
80	395	10,5	2,3	71,9	5,9	5	6	-0,84385	1,159748
81	400	-1,3	1,6	70,9	-0,7	3	5	-1,02228	1,231224
82	405	20,2	1,0	72,8	2,4	2	6	-1,25557	1,279469
83	410	-5,5	0,8	71,2	-3,1	3	7	-1,52615	1,302301
84	415	12,9	0,2	69,9	7,3	3	9	-1,81218	1,298923
85	420	3,4	1,0	69,2	1,9	5	9	-2,09051	1,269245
86	425	0,1	1,1	69,9	0,1	2	9	-2,33847	1,213405
87	430	-18,8	1,9	71,2	-10,6	2	5	-2,53422	1,131632
88	435	9,4	2,8	70,1	5,3	4	9	-2,65655	1,024278
89	440	-7,0	2,4	69,4	-3,9	4	5	-2,69108	0,892621
90	445	-10,6	-0,8	70,5	-6,0	5	9	-2,64436	0,740556
91	450	5,5	0,5	69,8	3,0	2	3	-2,5291	0,572902
92	455	3,7	-0,3	69,2	2,1	4	9	-2,35825	0,394585
93	460	6,8	0,0	70,2	3,8	5	8	-2,14466	0,210559
94	465	-0,5	-1,3	69,7	-0,2	6	9	-1,90122	0,02579
95	470	-0,8	0,1	74,3	0,1	2	9	-1,64064	-0,15477
96	475	-0,2	0,0	68,0	-0,1	2	5	-1,37491	-0,32623
97	480	19,8	1,2	69,4	11,2	2	6	-1,11433	-0,4845
98	485	0,7	-0,2	75,2	1,0	2	4	-0,86478	-0,62829
99	490	3,9	-1,4	71,0	2,2	2	5	-0,62988	-0,75726
100	495	4,9	-1,0	71,8	2,8	2	5	-0,41261	-0,87121
101	500	11,4	-0,9	73,1	6,5	2	8	-0,2157	-0,96995
102	505	6,6	-0,8	74,5	3,7	4	7	-0,04179	-1,0533
103	510	-23,1	-2,5	76,1	-12,9	2	5	0,106536	-1,12106
104	515	-7,9	-0,8	75,0	-4,3	2	4	0,226714	-1,17304
105	520	-5,9	-0,4	75,7	-3,3	3	5	0,316279	-1,20906
106	525	-4,7	0,5	74,7	-2,6	2	7	0,373359	-1,22882
107	530	-11,0	0,7	75,3	-6,2	3	5	0,398119	-1,23187
108	535	1,4	0,3	75,6	0,8	6	9	0,394489	-1,21837
109	540	-6,6	-0,8	75,0	-3,7	2	5	0,368114	-1,18886



No.	Jarak (m)	Data Lapangan				Hasil Filter NA-MEMD			
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
110	545	6,9	-1,1	74,3	3,9	5	9	0,324989	-1,14402
111	550	19,5	-0,8	75,6	11,0	5	5	0,271203	-1,08457



### Lampiran 3 : Data Pengukuran Lintasan 3

Nama Lintasan : Line 3 (L4A-L4B)  
 Lokasi Survei : Gua Cincin, Desa Melirang, Kec Bungah, Kab. Gresik  
 Tanggal : 24 Desember 2013/ 11.15 WIB  
 Arah Pengukuran : Timur - Barat  
 Spasi / Frekuensi : 5 m / 19,8 kHz  
 Koordinat Lintasan : 7° 2'3.90"S 112°32'8.36"T - 7° 2'13.61"S 112°32'25.40"T

No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
1	0	18,0	-0,4	45,0	10,2	2	4	4,168169	-0,068
2	5	-1,2	-2,2	49,9	-0,6	3	4	3,939388	0,250477
3	10	1,9	-1,0	48,1	1,0	2	5	4,141255	0,541451
4	15	-3,1	-0,2	50,7	-1,7	4	8	4,843581	0,778991
5	20	-6,2	0,4	46,9	-3,5	2	5	6,015073	0,938339
6	25	15,5	1,2	45,8	8,8	2	4	7,463355	1,002736
7	30	1,0	2,6	50,3	0,5	2	4	8,942244	0,963317
8	35	3,9	0,3	46,2	2,2	2	4	10,2017	0,81498
9	40	18,2	-0,6	47,3	10,3	2	4	11,00929	0,560275
10	45	8,6	-0,7	44,5	4,9	5	6	11,21199	0,220427
11	50	13,1	-1,2	50,2	7,5	4	5	10,78844	-0,15928
12	55	9,8	-1,8	49,0	5,6	3	5	9,817272	-0,52101
13	60	4,6	-2,1	47,4	2,6	2	4	8,466762	-0,80705
14	65	9,1	-2,4	47,3	5,2	2	5	6,97951	-0,96923
15	70	0,5	-1,6	47,6	0,3	2	4	5,629938	-0,97896
16	75	6,6	-0,3	46,8	3,8	2	6	4,647029	-0,8303
17	80	2,9	-1,2	47,3	3,6	2	4	4,148084	-0,54015
18	85	2,0	-2,0	45,7	1,1	2	4	4,161322	-0,14068
19	90	1,3	-1,0	48,0	0,7	2	5	4,63883	0,328414
20	95	12,2	0,7	49,2	0,9	2	5	5,392953	0,804746
21	100	0,0	1,6	47,6	0,0	3	5	6,21386	1,219219
22	105	5,0	1,1	47,8	2,9	2	5	6,94381	1,512028
23	110	13,0	0,6	46,0	7,4	2	4	7,524297	1,653074
24	115	12,0	-0,2	45,0	6,8	2	4	7,957813	1,647337
25	120	8,5	0,0	49,7	4,6	2	5	8,271431	1,520254
26	125	5,5	0,2	49,5	3,1	3	5	8,502207	1,305864
27	130	-2,4	0,0	47,2	-1,3	4	6	8,677841	1,037595
28	135	6,3	0,6	54,6	3,6	2	6	8,811847	0,746915
29	140	-2,4	0,5	49,3	-1,3	2	5	8,892331	0,458421
30	145	5,6	0,8	48,2	3,2	2	5	8,861664	0,189568
31	150	12,7	0,4	49,7	7,2	2	4	8,642296	-0,04466



No.	Jarak (m)	Data Lapangan				Hasil Filter NA-MEMD			
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
32	155	19,0	-1,5	47,8	9,3	2	4	8,159134	-0,23054
33	160	10,5	0,1	51,4	6,0	2	4	7,347638	-0,35535
34	165	13,6	-1,7	47,9	6,2	2	4	6,171601	-0,41101
35	170	8,2	-1,4	48,3	3,2	2	4	4,686864	-0,40563
36	175	4,2	-2,0	48,5	0,9	2	4	2,989246	-0,35304
37	180	-8,3	1,1	50,1	-4,7	5	6	1,179165	-0,26751
38	185	-13,1	2,6	49,0	-7,4	2	4	-0,64237	-0,16308
39	190	-5,5	-2,9	50,5	-3,1	2	5	-2,37555	-0,05213
40	195	-3,6	-2,0	46,9	2,0	4	6	-3,94351	0,057757
41	200	-6,8	-0,3	52,7	3,8	5	5	-5,31421	0,166927
42	205	-11,9	-0,8	47,8	6,7	5	6	-6,48015	0,275571
43	210	-4,2	0,0	51,2	-2,3	2	5	-7,43924	0,382939
44	215	-10,3	-0,4	57,3	-5,8	3	5	-8,19037	0,488186
45	220	-7,3	1,2	47,7	-4,1	2	5	-8,73609	0,590533
46	225	-3,3	0,7	49,8	-1,9	2	5	-9,08614	0,689097
47	230	-7,7	0,0	50,3	-4,4	4	6	-9,25818	0,782794
48	235	-6,5	0,9	51,1	-3,6	4	6	-9,28406	0,870609
49	240	-5,0	1,7	49,5	-2,8	4	7	-9,21193	0,952203
50	245	1,5	0,5	49,6	0,8	2	5	-9,09249	1,027869
51	250	-10,8	2,7	46,5	-6,1	2	5	-8,96137	1,097195
52	255	-17,9	1,1	48,9	-10,1	3	5	-8,83588	1,158493
53	260	-1,7	0,2	48,4	-1,0	2	4	-8,71531	1,208251
54	265	-7,1	0,6	48,6	-4,0	3	5	-8,59672	1,243179
55	270	-3,1	-0,4	49,7	-1,7	2	8	-8,48096	1,260632
56	275	-16,3	0,3	45,7	-9,2	3	5	-8,37272	1,257651
57	280	-12,2	0,0	51,6	-6,9	2	5	-8,27267	1,23062
58	285	-10,8	1,3	50,3	-6,1	3	5	-8,17453	1,17623
59	290	-10,8	1,1	49,9	-6,1	4	5	-8,06235	1,092528
60	295	-10,8	1,7	49,2	-6,1	2	5	-7,9157	0,978999
61	300	4,4	2,1	52,5	2,5	7	9	-7,71456	0,837023
62	305	5,4	2,5	53,3	3,0	4	6	-7,44511	0,670481
63	310	-8,0	1,2	47,1	-4,5	3	5	-7,10821	0,486787
64	315	-3,9	1,0	47,1	-2,2	2	5	-6,71904	0,296884
65	320	-7,1	1,2	51,1	-4,0	4	8	-6,29972	0,114527
66	325	-10,5	-0,5	51,8	-5,9	3	6	-5,87222	-0,04257
67	330	-4,5	-0,9	49,5	-2,5	3	6	-5,4627	-0,15813
68	335	-9,1	-0,7	50,7	-5,1	2	5	-5,09994	-0,22067
69	340	10,5	-0,7	49,5	6,0	3	7	-4,80655	-0,2251
70	345	-2,0	0,0	45,4	-1,1	3	4	-4,60202	-0,17581



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
71	350	-16,3	-1,6	51,5	-9,2	5	5	-4,508	-0,08437
72	355	-7,0	-1,4	48,3	-4,0	5	8	-4,54812	0,032595
73	360	-7,5	-0,3	47,0	-4,2	5	6	-4,7529	0,150662
74	365	-1,0	1,7	46,0	-0,5	3	5	-5,15124	0,241898
75	370	4,5	0,5	45,8	2,5	4	5	-5,76891	0,277297
76	375	5,3	1,1	45,5	3,0	5	6	-6,61092	0,232752
77	380	-3,4	2,3	49,1	-1,9	4	6	-7,62757	0,103175
78	385	-7,3	0,2	47,2	-4,1	2	4	-8,73113	-0,09471
79	390	-12,0	-0,1	47,7	-6,7	3	4	-9,82715	-0,33645
80	395	-14,8	-1,8	46,4	-8,4	2	4	-10,8249	-0,59498
81	400	-5,4	-1,1	44,1	-3,0	2	6	-11,6533	-0,83726
82	405	-10,3	-0,9	46,7	-5,7	2	3	-12,2559	-1,0306
83	410	-10,4	-0,7	47,1	-5,8	3	5	-12,5709	-1,14745
84	415	-4,9	-1,4	46,7	-2,7	3	5	-12,5298	-1,1643
85	420	-5,1	-0,3	48,3	-2,9	2	4	-12,0762	-1,07184
86	425	-5,3	-0,2	48,4	-3,0	4	5	-11,1808	-0,89156
87	430	-12,1	-0,4	48,5	-6,8	2	3	-9,82752	-0,65351
88	435	-8,8	0,0	48,6	-4,9	2	5	-8,01785	-0,38586
89	440	-6,6	0,1	35,6	-3,7	3	4	-5,80486	-0,11086
90	445	0,3	0,3	35,0	0,1	3	4	-3,28212	0,155318
91	450	18,7	1,3	47,2	10,6	2	7	-0,55054	0,398034
92	455	-7,2	0,8	-45,8	-4,0	2	7	2,2897	0,602762
93	460	9,0	0,8	33,7	5,1	2	5	5,136191	0,756925
94	465	19,9	1,0	50,1	11,3	2	8	7,874925	0,856262
95	470	6,6	0,9	43,0	3,8	2	9	10,40082	0,904144
96	475	21,2	1,0	47,8	12,0	2	6	12,6191	0,906122
97	480	24,6	1,0	47,2	13,7	2	5	14,44389	0,868709
98	485	23,8	1,1	47,0	13,2	2	3	15,79698	0,799118
99	490	25,0	1,0	47,2	13,8	2	4	16,60398	0,704337
100	495	17,2	1,4	45,8	9,7	2	6	16,80154	0,590465
101	500	14,3	1,1	48,7	8,1	4	9	16,37607	0,460667
102	505	14,7	0,6	44,4	8,3	2	9	15,39024	0,319515
103	510	25,8	0,9	47,1	14,4	2	6	13,96887	0,17446
104	515	24,5	0,6	46,4	13,5	2	4	12,25116	0,033338
105	520	23,5	0,5	45,8	13,0	2	2	10,37866	-0,09762
106	525	-0,3	0,0	46,0	-0,1	2	5	8,506634	-0,2137
107	530	23,8	0,3	45,2	13,4	2	6	6,795179	-0,3104
108	535	7,4	0,5	44,7	4,2	2	7	5,405168	-0,3831
109	540	0,1	0,0	42,0	0,0	3	9	4,495662	-0,4271



No.	Jarak (m)	Data Lapangan				Hasil Filter NA-MEMD			
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
110	545	7,3	0,5	48,1	4,1	3	9	4,181868	-0,43918
111	550	13,6	-1,6	45,8	7,7	2	8	4,427201	-0,42106



#### Lampiran 4 : Data Pengukuran Lintasan 4

Nama Lintasan : Line 4 (L5A-L5B)  
 Lokasi Survei : Gua Cincin, Desa Melirang, Kec Bungah, Kab. Gresik  
 Tanggal : 25 Desember 2013/ 08.00 WIB  
 Arah Pengukuran : Timur - Barat  
 Spasi / Frekuensi : 5 m / 19,8 kHz  
 Koordinat Lintasan : 7° 2'1.26"S 112°32'9.98"T - 7° 2'11.80"S 112°32'28.60"T

No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
1	0	-40,1	3,1	49	-21,8	2	3	0,750875	6,476769
2	5	-29,25	5,3	47,8	-16,4	2	4	0,439631	6,195482
3	10	-29,3	6,4	47	-16,3	2	3	0,189223	5,783276
4	15	-27,7	5,8	48,9	-15,4	2	4	0,005214	5,246919
5	20	-24,9	4,6	54,1	-13,9	2	4	-0,11354	4,601656
6	25	-37,6	1,9	55,7	-20,5	2	3	-0,17452	3,868919
7	30	-27	-1,4	54,4	-15	2	3	-0,1884	3,073225
8	35	-41,7	-5,1	53,4	-22,6	2	3	-0,16686	2,239996
9	40	-34,9	-5,1	52,5	-19,2	2	3	-0,1219	1,394594
10	45	-29,6	-4,8	52	-16,4	2	4	-0,06529	0,560813
11	50	-27,8	-4,6	56,2	-15,5	4	4	-0,00818	-0,24164
12	55	-28,7	-4,3	56,1	-16	3	4	0,039407	-0,99859
13	60	-25,8	-4,5	53,8	-14,4	3	4	0,069454	-1,69842
14	65	-27,7	-5,6	54,1	-16,5	4	4	0,076467	-2,33126
15	70	-28,8	-9,2	55,1	-16,1	2	4	0,056198	-2,88809
16	75	-36,2	-10,7	55	-20	2	3	0,004716	-3,36032
17	80	-35,4	-11,7	55,5	-19,6	4	4	-0,08194	-3,74043
18	85	-35	-12,3	48,1	-19,5	3	3	-0,20744	-4,02255
19	90	-5,9	-2,2	52	-3,1	2	4	-0,37438	-4,20267
20	95	-46,2	-7	51,9	-24,8	2	3	-0,58227	-4,28075
21	100	-5	-0,6	51,2	-2,6	2	3	-0,82617	-4,26147
22	105	-13,2	0,3	51,5	-2,1	2	4	-1,09546	-4,1551
23	110	-33,5	-6,4	52,3	-18,4	2	3	-1,37811	-3,97408
24	115	-31,6	-5,1	52,6	-17,5	3	3	-1,66191	-3,73116
25	120	-32,6	-4,3	50,7	-12,9	2	2	-1,93478	-3,43905
26	125	-35,1	-7,3	50,5	-19,4	2	3	-2,18454	-3,11069
27	130	-32,1	-6,5	52,1	-17,8	2	4	-2,40022	-2,75893
28	135	-36,4	-6,5	46,3	-20	2	3	-2,57622	-2,39509
29	140	-19,2	-5,7	49,9	-10,8	2	3	-2,71337	-2,02884
30	145	-16,6	-3,3	47,6	-9,4	2	3	-2,8148	-1,66971
31	150	-30,1	-4,8	50,7	-16,7	3	4	-2,88274	-1,32755



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
32	155	-29,8	-3,3	44,7	-16,5	2	3	-2,91869	-1,0123
33	160	-21,5	-4,3	48,1	-12,1	2	5	-2,92245	-0,73398
34	165	-21,7	-4	47,3	-12,2	2	4	-2,89212	-0,50248
35	170	-19	-4,3	46,2	-10,7	2	4	-2,82541	-0,32671
36	175	-15,4	-3,1	46,6	-8,7	2	5	-2,72121	-0,21235
37	180	-22,5	-2,5	49,3	-12,6	3	5	-2,58019	-0,16064
38	185	-16,5	-1,6	45,5	-9,3	2	4	-2,40287	-0,16907
39	190	-18,1	-1,8	49,1	-10,2	2	5	-2,18843	-0,23347
40	195	-22,5	-3	44,7	-12,6	3	4	-1,93516	-0,34937
41	200	-18,6	-2,2	45	-10,5	2	4	-1,64116	-0,51227
42	205	-38,8	-1,9	49,9	-21	2	3	-1,30381	-0,71776
43	210	-18,11	-2,5	50,1	-10,2	2	4	-0,92082	-0,96099
44	215	-17,5	-3,3	43,3	-9,8	2	4	-0,49554	-1,23438
45	220	-11,9	-2,3	47,1	-6,7	3	4	-0,03734	-1,52669
46	225	-15,6	-3	47,1	-8,8	2	4	0,440479	-1,82541
47	230	-23	-2,6	43,5	-12,9	2	3	0,922194	-2,11773
48	235	-3,1	-1,4	47	-1,9	2	5	1,390317	-2,39046
49	240	-2,5	-1,8	47	-1,5	2	3	1,826009	-2,63037
50	245	-24,2	-5,1	47,5	-13,6	2	4	2,209796	-2,82415
51	250	-15,8	-5,1	48,1	-8,9	2	4	2,522445	-2,9589
52	255	-7,8	-5,1	46,5	-4,4	2	5	2,744361	-3,02254
53	260	-0,4	-5,1	47,7	-0,2	4	4	2,858024	-3,00433
54	265	-10,3	-4,9	45	-5,8	2	4	2,8528	-2,89715
55	270	-0,2	-2,6	44,7	0	2	4	2,731718	-2,69881
56	275	1,3	-2,4	47,5	0,7	4	5	2,508275	-2,41032
57	280	6,9	-1	44,4	0,6	2	4	2,198475	-2,03487
58	285	-9,9	-0,4	41,7	-5,6	2	4	1,818908	-1,57746
59	290	-14,7	0	44,7	-8,3	2	4	1,386687	-1,04524
60	295	-14,9	0	42,8	-8,4	2	4	0,920195	-0,44774
61	300	-2,4	1,5	43,1	-1,3	2	4	0,440269	0,203139
62	305	4,9	1	43,5	2,8	2	4	-0,03029	0,893043
63	310	-12,9	1,1	42,9	-6,9	2	3	-0,46842	1,605151
64	315	-12,2	1,8	43,3	-0,6	2	3	-0,85138	2,321093
65	320	-1,1	1,4	45,1	-9,3	2	4	-1,15696	3,021111
66	325	-16,5	1	43,3	-10,6	2	4	-1,3636	3,684717
67	330	-18,9	1,2	42,3	-12,9	2	3	-1,45224	4,291887
68	335	-23	-1,8	46	19,8	2	3	-1,41458	4,825565
69	340	-2,6	2,6	43	-2,8	2	4	-1,26511	5,267822
70	345	-6,8	4,3	42,2	-8,7	2	4	-1,02711	5,597572



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
71	350	15,4	5,2	42,3	-2,6	2	4	-0,72509	5,793409
72	355	-4,7	5,6	42,3	-0,8	2	4	-0,38357	5,835128
73	360	-1,5	7,2	42,7	-6,3	2	5	-0,0256	5,706438
74	365	-11,1	7,7	43	0,1	2	4	0,329369	5,398627
75	370	0,2	8,3	43,3	1,9	2	4	0,664298	4,908493
76	375	3,4	8,1	46,2	11,3	2	3	0,965346	4,241909
77	380	20	6,3	44,8	-6,1	2	3	1,222264	3,418471
78	385	-10,8	5,6	46,6	8,3	2	3	1,429431	2,469512
79	390	14,6	3,4	49,5	-11,8	2	4	1,587535	1,434307
80	395	-21	-2,8	45,5	4	2	4	1,702997	0,356554
81	400	7	-3,8	44,2	5,7	2	4	1,78354	-0,71908
82	405	10	-6,6	44,2	3,1	2	4	1,836186	-1,74926
83	410	5,4	-7,3	46,6	1	2	4	1,866725	-2,6927
84	415	1,8	-9,5	45,9	-5	2	4	1,878713	-3,51205
85	420	-8,8	-9,2	47,2	-0,4	2	4	1,872246	-4,1789
86	425	-0,8	-9,7	45,1	2,9	2	6	1,845407	-4,6796
87	430	5	-9,3	42,1	2,2	2	3	1,799189	-5,01447
88	435	3,9	-7,1	40,3	-2,9	2	3	1,73552	-5,18782
89	440	-5,2	-4,7	42,3	2,8	2	4	1,656128	-5,20549
90	445	4,9	-2,7	45,1	0,6	2	3	1,561475	-5,07582
91	450	1,2	-2,3	40,4	-0,7	2	3	1,450089	-4,8101
92	455	-1,3	-3,2	41,2	1	2	4	1,316645	-4,42344
93	460	1,7	-1,6	43,4	11,6	2	4	1,15447	-3,93288
94	465	20,6	-1,9	42,3	3,6	2	4	0,957153	-3,35608
95	470	6,4	-0,2	41,7	9,7	2	3	0,720282	-2,71052
96	475	17,2	-0,1	42	1,7	2	4	0,443512	-2,01382
97	480	2,9	-0,7	44,5	0,1	2	3	0,130515	-1,28585
98	485	0,3	-3,6	46,1	3,4	2	5	-0,21248	-0,54529
99	490	5,9	-4,9	43,4	1,4	4	6	-0,57784	0,190885
100	495	-2,6	-6	43,1	-6,1	2	3	-0,95716	0,906746
101	500	-10,8	-3,9	41,5	2,8	4	5	-1,34122	1,587111
102	505	4,8	-1,7	49,9	-3,6	2	4	-1,71999	2,21777
103	510	-6,3	-0,6	38,6	-5,5	2	3	-2,08333	2,785536
104	515	-9,8	1	43,3	-3,5	2	4	-2,42144	3,278483
105	520	-6,2	0,4	42,4	-4,5	2	5	-2,72506	3,686361
106	525	-7,9	1,7	42,8	-6,2	2	4	-2,986	4,00128
107	530	-11	4,2	43,8	-4	2	4	-3,19859	4,219241
108	535	-7	5	43,2	6,8	3	5	-3,35941	4,339505
109	540	11,9	4,1	47,4	7,5	4	8	-3,46617	4,364333



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
110	545	13,2	4,6	44,6	-0,3	3	5	-3,51742	4,298899
111	550	-0,6	2,7	47,1	12,4	3	4	-3,51384	4,150028



### Lampiran 5 : Data Pengukuran Lintasan 5

Nama Lintasan : Line 5 (L6A-L6B)  
 Lokasi Survei : Gua Cincin, Desa Melirang, Kec Bungah, Kab. Gresik  
 Tanggal : 25 Desember 2013/ 08.00 WIB  
 Arah Pengukuran : Timur - Barat  
 Spasi / Frekuensi : 5 m / 19,8 kHz  
 Koordinat Lintasan : 7° 1'58.00"S 112°32'10.70"T-7° 2'7.70"S 112°32'27.70"T

No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
1	0	16,6	6,1	75,5	9,4	4	4	6,197135	7,177519
2	5	28,7	17,7	71,6	16,5	2	3	6,253751	7,222846
3	10	15,5	13,9	74,3	9,0	3	3	6,20391	7,076308
4	15	7,9	16,3	72,9	4,6	2	3	6,04292	6,731647
5	20	12,1	17,9	74,1	7,1	2	4	5,774225	6,210225
6	25	12,0	18,3	78,1	7,1	2	4	5,404883	5,541833
7	30	20,6	4,2	78,3	11,6	2	4	4,942568	4,756851
8	35	17,5	9,3	78,2	10,0	2	4	4,395036	3,885699
9	40	17,6	2,9	79,7	10,0	3	4	3,770208	2,958789
10	45	19,4	-6,3	76,1	11,3	2	4	3,076211	2,00648
11	50	12,6	16,2	88,7	7,3	2	4	2,321477	1,05894
12	55	2,4	-8,5	81,8	1,4	2	4	1,514632	0,14613
13	60	1,0	-7,3	82,7	0,5	3	5	0,664763	-0,70294
14	65	17,3	-2,9	81,1	9,8	2	4	-0,21736	-1,46288
15	70	8,5	-5,5	89,8	4,8	2	6	-1,11812	-2,11473
16	75	14,8	-6,4	84,0	8,4	2	5	-2,02184	-2,6456
17	80	1,4	-6,8	83,3	0,8	3	8	-2,91149	-3,04756
18	85	25,8	-4,6	86,8	14,5	2	4	-3,77075	-3,31581
19	90	17,8	-5,0	88,5	10,1	2	6	-4,58421	-3,44792
20	95	10,5	-0,9	82,7	6,0	2	5	-5,33696	-3,44437
21	100	-2,0	4,7	75,6	-1,1	2	4	-6,01363	-3,31014
22	105	9,0	1,5	77,9	5,0	2	3	-6,59797	-3,05678
23	110	13,4	1,5	73,4	7,0	2	3	-7,07296	-2,7008
24	115	-5,4	2,2	76,0	-3,0	2	4	-7,42229	-2,26193
25	120	-4,8	4,1	75,9	-2,7	2	4	-7,63097	-1,76189
26	125	5,0	4,7	75,2	2,8	2	4	-7,68627	-1,22385
27	130	-1,0	2,7	76,2	-0,5	2	4	-7,57749	-0,67187
28	135	-2,3	2,6	75,4	-1,2	2	4	-7,29706	-0,13094
29	140	11,4	3,5	74,4	6,5	2	4	-6,84714	0,37358
30	145	-6,2	2,0	75,8	-3,5	2	4	-6,24344	0,822556
31	150	-4,8	2,4	74,8	-2,7	3	4	-5,50863	1,203957



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
32	155	11,6	2,6	78,8	6,6	2	4	-4,66757	1,508887
33	160	-7,4	2,7	76,6	-4,1	2	3	-3,7459	1,729754
34	165	2,5	2,4	75,8	1,4	2	4	-2,76968	1,859948
35	170	28,3	3,2	78,9	15,8	2	5	-1,76514	1,893675
36	175	11,8	3,9	49,5	0,7	2	7	-0,75822	1,825725
37	180	13,0	4,0	47,3	7,4	2	9	0,22639	1,651675
38	185	18,3	1,9	48,5	10,3	2	4	1,167946	1,371025
39	190	12,1	1,1	51,1	6,9	2	6	2,052478	0,991546
40	195	16,4	0,9	45,6	9,3	2	7	2,870557	0,525949
41	200	7,8	0,4	50,4	4,4	2	7	3,614932	-0,01043
42	205	18,3	0,9	50,1	10,2	2	4	4,279799	-0,60087
43	210	20,8	0,8	49,3	11,5	2	4	4,860984	-1,2279
44	215	7,0	1,4	52,2	4,0	2	9	5,356485	-1,87375
45	220	11,7	0,7	48,4	6,6	2	5	5,766972	-2,52062
46	225	29,9	0,1	45,4	16,1	2	4	6,095097	-3,15043
47	230	17,4	0,3	48,9	9,8	2	4	6,344125	-3,74526
48	235	15,3	1,2	50,8	8,7	2	7	6,51679	-4,28767
49	240	18,7	0,0	51,8	10,5	2	6	6,615626	-4,76006
50	245	28,0	-1,0	48,4	15,6	3	5	6,643422	-5,14417
51	250	-4,8	-3,0	48,4	-2,7	2	7	6,603711	-5,42054
52	255	4,6	-4,8	46,7	2,6	3	9	6,499938	-5,56995
53	260	24,2	-5,7	52,3	8,4	4	9	6,334422	-5,57481
54	265	12,3	-5,7	52,1	7,0	2	9	6,108297	-5,4199
55	270	15,7	-6,0	52,2	9,0	3	9	5,82202	-5,09352
56	275	11,5	-4,5	54,4	6,5	3	9	5,474596	-4,59244
57	280	13,1	-5,0	51,0	7,5	3	6	5,064778	-3,92658
58	285	32,1	-4,5	53,5	17,8	2	5	4,592628	-3,11928
59	290	23,3	0,9	49,7	13,1	2	4	4,058968	-2,20039
60	295	13,4	0,9	51,7	7,6	3	5	3,464785	-1,20202
61	300	5,7	1,5	50,4	3,3	2	9	2,811304	-0,1572
62	305	-0,3	1,7	50,1	-0,1	3	9	2,099934	0,90063
63	310	10,5	5,3	58,2	6	6	9	1,332596	1,938252
64	315	8,0	8,7	56,2	4,6	5	8	0,513089	2,923659
65	320	10,9	11,5	49,1	6,3	5	6	-0,35155	3,827169
66	325	22,8	12,8	46,9	13	2	5	-1,25177	4,621355
67	330	16,9	8,4	47,3	9,6	2	4	-2,17604	5,282556
68	335	14,4	9,3	47,4	8,2	2	5	-3,11008	5,797032
69	340	4,0	9,0	48,1	2,3	3	7	-4,03583	6,163136
70	345	14,5	9,1	46,9	2,9	3	5	-4,93208	6,386656



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
71	350	-1,5	9,7	48,3	-0,8	2	5	-5,77608	6,477319
72	355	4,4	10,4	47,7	2,5	5	7	-6,54477	6,446748
73	360	0,6	8,4	43,6	0,3	4	6	-7,21525	6,307621
74	365	-10,0	6,9	47,3	-5,6	5	6	-7,76482	6,072762
75	370	4,1	6,6	42,9	2,3	4	7	-8,17193	5,754433
76	375	6,1	7,3	49,9	3,5	2	9	-8,41855	5,363315
77	380	1,2	6,1	45,3	0,7	2	9	-8,49486	4,907671
78	385	1,3	5,8	47,1	0,7	3	6	-8,40436	4,396223
79	390	-3,7	5,4	44,6	-2	2	6	-8,15994	3,840909
80	395	-6,4	4,7	43,5	-3,6	3	6	-7,7774	3,255158
81	400	-1,7	4,5	49,7	-0,9	4	8	-7,27342	2,652879
82	405	11,4	4,4	49,8	6,5	2	6	-6,66494	2,048149
83	410	5,2	4,3	45,3	3	3	5	-5,96885	1,455111
84	415	11,8	2,7	42,8	6,7	2	6	-5,20164	0,888103
85	420	14,9	2,7	47,2	8,5	3	6	-4,37857	0,360691
86	425	12,8	3,5	46,4	7,3	5	6	-3,5124	-0,11944
87	430	11,7	4,4	46,7	6,7	2	5	-2,61381	-0,55275
88	435	7,0	3,2	50,2	4	2	6	-1,69507	-0,94167
89	440	5,9	3,1	44,1	3,3	2	5	-0,76925	-1,28852
90	445	5,6	2,9	49,1	3,2	5	6	0,150385	-1,5955
91	450	13,0	4,7	45,1	7,4	3	4	1,050569	-1,86477
92	455	9,0	3,2	44	5,1	2	6	1,918446	-2,09888
93	460	4,4	2,7	43,8	2,5	2	5	2,743342	-2,30195
94	465	10,3	2,8	49,2	5,9	2	5	3,51656	-2,47845
95	470	16,3	3,9	46,7	9,2	3	5	4,23407	-2,63055
96	475	9,1	1,3	44,6	5,2	2	5	4,893297	-2,75897
97	480	13,0	0,4	47,8	7,4	4	5	5,491959	-2,86416
98	485	14,2	-0,7	47,1	8,1	4	6	6,02801	-2,94654
99	490	21,6	-1,3	46,6	12,2	2	6	6,499648	-3,00655
100	495	20,0	-2,6	49,4	11,3	5	5	6,905459	-3,04486
101	500	13,4	-0,5	47,9	7,6	2	4	7,244206	-3,06234
102	505	23,3	0,6	48,9	13,1	2	7	7,514957	-3,06
103	510	26,9	1,2	48,6	15	2	5	7,717363	-3,03933
104	515	26,3	-0,1	49,1	14,7	2	5	7,851535	-3,0025
105	520	22,4	-2,9	47,1	12,6	2	5	7,917551	-2,95093
106	525	17,5	-4,6	48,5	9,9	2	7	7,915733	-2,88502
107	530	9,7	-6,5	46,9	5,5	2	5	7,846603	-2,80477
108	535	10,8	-0,7	48,6	6,1	2	5	7,711109	-2,71033
109	540	15,5	5,1	51,2	8,8	2	4	7,510687	-2,60201



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
110	545	20,7	9,1	47,3	11,7	2	4	7,247857	-2,48039
111	550	23,9	10,7	45,9	13,5	2	4	6,925415	-2,34615



### Lampiran 6 : Data Pengukuran Lintasan 6

Nama Lintasan : Line 6 (L8A-L8B)  
 Lokasi Survei : Gua Cincin, Desa Melirang, Kec Bungah, Kab. Gresik  
 Tanggal : 26 Desember 2013/ 09.30 WIB  
 Arah Pengukuran : Timur - Barat  
 Spasi / Frekuensi : 5 m / 19,8 kHz  
 Koordinat Lintasan : 7° 1'53.20"S 112°32'14.90"T-7°2'13.61"S 112°32'25.40"T

No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
1	0	22,7	2,9	44,6	12,8	2	5	12,19905	0,061638
2	5	38,0	4,1	43,2	17,4	2	2	12,38247	0,119064
3	10	27,9	4,5	42,3	15,6	2	5	12,43721	0,114813
4	15	35,8	5,4	44,9	19,7	2	4	12,36381	0,044185
5	20	36,3	4,3	42,9	16,4	2	4	12,16711	-0,09101
6	25	30,8	4,4	43,0	13,9	2	4	11,85489	-0,2837
7	30	29,8	5,0	41,5	16,6	2	3	11,43582	-0,52354
8	35	11,1	4,2	42,2	6,3	3	8	10,91875	-0,79878
9	40	26,4	3,8	43,8	14,8	2	6	10,31247	-1,09664
10	45	26,4	4,6	44,0	14,8	2	6	9,624803	-1,40281
11	50	21,9	4,6	43,2	12,3	2	9	8,862959	-1,70213
12	55	20,5	4,6	42,7	11,6	2	7	8,033874	-1,97922
13	60	15,8	5,0	44,2	9,0	3	9	7,143562	-2,21826
14	65	20,9	5,0	42,4	11,8	3	8	6,195626	-2,40258
15	70	17,3	4,6	43,4	9,7	2	4	5,191799	-2,51599
16	75	7,7	4,2	43,0	4,4	2	7	4,133784	-2,54439
17	80	0,8	4,0	43,6	0,5	3	9	3,023756	-2,476
18	85	16,3	4,2	43,8	9,2	2	7	1,865857	-2,30186
19	90	15,4	3,8	44,4	8,7	2	5	0,66525	-2,01534
20	95	16,9	2,5	43,9	9,6	3	7	-0,57278	-1,6131
21	100	18,9	3,8	44,7	10,7	2	9	-1,84227	-1,09706
22	105	17,2	4,2	47,1	9,8	2	9	-3,13426	-0,47765
23	110	20,0	4,0	39,2	11,3	4	9	-4,43313	0,223395
24	115	10,0	4,9	44,4	5,7	4	9	-5,72045	0,981093
25	120	1,9	3,3	42,3	1,6	5	7	-6,97586	1,769156
26	125	-10,8	3,1	43,9	-6,1	7	9	-8,17781	2,56064
27	130	-4,1	3,0	44,1	-2,3	3	8	-9,30252	3,326727
28	135	10,4	3,8	45,7	5,9	2	9	-10,3229	4,036417
29	140	3,0	5,2	41,4	1,7	2	7	-11,2122	4,65882
30	145	-3,0	15,8	43,1	-1,6	4	6	-11,9456	5,16463
31	150	-6,4	3,7	41,5	-3,6	2	4	-12,5025	5,527429



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
32	155	-3,1	21,7	42,0	-1,7	2	5	-12,8635	5,722185
33	160	-3,5	21,3	42,1	-1,9	2	7	-13,0114	5,726426
34	165	-1,3	20,7	42,1	-0,7	2	5	-12,9375	5,531292
35	170	3,0	3,6	39,5	1,7	2	4	-12,6487	5,151842
36	175	-0,1	2,6	42,2	0,0	2	8	-12,1597	4,613785
37	180	-10,8	1,8	41,3	-6,1	2	5	-11,4881	3,946359
38	185	12,3	2,9	45,7	7,0	2	9	-10,6541	3,181185
39	190	7,5	2,8	41,2	43,3	2	9	-9,67915	2,351126
40	195	-8,4	2,3	44,8	-4,7	2	7	-8,58483	1,488747
41	200	-1,8	2,2	43,1	4,5	2	5	-7,39378	0,62521
42	205	-0,8	2,0	43,0	5,1	2	5	-6,12971	-0,21181
43	210	0,8	1,8	43,7	0,4	2	9	-4,81698	-1,00146
44	215	3,8	1,6	43,5	2,1	2	5	-3,48004	-1,72787
45	220	19,6	1,3	45,5	11,1	2	4	-2,14415	-2,37799
46	225	18,5	1,2	46,1	10,5	2	9	-0,83535	-2,94058
47	230	12,6	0,9	43,3	7,1	2	9	0,419999	-3,40626
48	235	25,8	0,4	45,3	14,5	2	8	1,596186	-3,76838
49	240	-4,2	-0,4	43,8	-2,4	2	9	2,668848	-4,02368
50	245	18,8	-0,5	45,9	10,6	2	9	3,615374	-4,17402
51	250	7,4	-1,2	45,4	4,2	2	9	4,41468	-4,22543
52	255	2,0	-0,5	47,9	1,1	2	9	5,0485	-4,18663
53	260	-3,6	-1,2	44,8	-2,0	2	5	5,503778	-4,06595
54	265	14,5	-1,7	43,8	8,2	2	9	5,775848	-3,8723
55	270	17,2	-1,7	46,2	9,8	2	6	5,866436	-3,61554
56	275	19,0	-1,1	43,5	10,6	2	4	5,779987	-3,30555
57	280	5,2	-1,2	40,1	3,0	2	5	5,52328	-2,95194
58	285	24,4	-0,2	43,2	13,6	2	3	5,106576	-2,5652
59	290	22,9	0,2	40,5	12,9	2	7	4,55008	-2,15872
60	295	25,7	1,2	42,9	14,4	2	6	3,884702	-1,7454
61	300	22,7	2,1	43,5	12,8	2	7	3,146454	-1,335
62	305	10,7	1,2	44,7	6,1	2	8	2,372773	-0,93599
63	310	16,1	1,4	41,3	9,2	2	8	1,601771	-0,55656
64	315	-3,0	1,0	42,9	-1,7	2	7	0,8717	-0,20478
65	320	-7,4	0,8	44,1	-4,2	2	6	0,220577	0,111223
66	325	-1,5	3,6	44,1	-0,9	2	6	-0,31473	0,383162
67	330	-9,2	-0,6	43,3	-5,2	2	6	-0,70685	0,603377
68	335	0,7	4,1	46,1	0,4	2	4	-0,95681	0,766782
69	340	6,5	4,5	46,2	3,6	2	6	-1,07789	0,870943
70	345	21,3	2,6	46,4	12	2	7	-1,08544	0,914163



No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
71	350	7,7	3,1	52,1	4,4	2	9	-0,99613	0,895473
72	355	14,9	5,6	45,9	8,4	2	5	-0,8277	0,814747
73	360	18,0	2,7	44,3	10,2	2	7	-0,5994	0,673627
74	365	4,8	2,5	41,6	2,7	2	4	-0,33384	0,480064
75	370	-3,2	2,2	43,5	-1,7	2	6	-0,05619	0,248876
76	375	0,9	1,6	44,6	0,5	2	5	0,207729	-0,00249
77	380	4,1	1,5	44,9	2,3	2	7	0,433194	-0,25626
78	385	-2,7	1,3	46,3	-1,5	2	7	0,601107	-0,49545
79	390	-5,6	0,4	45,3	-3,2	2	6	0,704027	-0,70534
80	395	17,8	0,3	43,6	10,1	2	6	0,746971	-0,87467
81	400	17,3	0,2	45,1	9,8	2	4	0,742715	-0,99518
82	405	19,4	0,6	45,6	11	2	7	0,708816	-1,06172
83	410	-14,1	0,1	44,1	-7,9	2	3	0,663879	-1,07123
84	415	1,4	0,0	46,7	0,8	3	5	0,621919	-1,02441
85	420	2,0	1,1	49,1	1,1	3	8	0,589876	-0,92765
86	425	13,9	1,3	45,3	7,9	2	4	0,570919	-0,79118
87	430	11,8	1,5	51,2	0,7	2	8	0,566683	-0,62617
88	435	0,0	1,0	47,3	0	3	9	0,577182	-0,44383
89	440	17,2	1,7	46,7	9,7	2	7	0,601429	-0,25531
90	445	-1,9	1,8	49,8	-1	2	9	0,638118	-0,07155
91	450	-1,0	2,1	75,3	-0,5	2	5	0,68392	0,098622
92	455	-14,2	2,2	74,1	-8	2	3	0,73067	0,251216
93	460	7,9	2,0	77,5	4,5	2	5	0,769227	0,384485
94	465	8,5	1,4	44,8	4,8	2	6	0,790663	0,497509
95	470	21,5	1,1	49,5	12,1	2	4	0,78646	0,5895
96	475	-0,1	1,6	46,3	0	2	6	0,749103	0,659624
97	480	19,6	0,1	48,3	11	2	4	0,672073	0,707044
98	485	0,6	1,0	46,7	0	4	6	0,551261	0,731368
99	490	17,0	1,2	46,4	9,7	3	8	0,38937	0,734054
100	495	3,4	1,9	50,7	18,7	2	4	0,195876	0,718564
101	500	2,9	2,3	50,1	1,6	5	9	-0,0172	0,6889
102	505	2,1	2,2	49,2	1,2	2	9	-0,2372	0,649117
103	510	7,5	2,0	50,6	4,3	3	9	-0,45118	0,603257
104	515	-12,0	2,5	51,7	-6,8	2	6	-0,64623	0,555366
105	520	-2,4	1,7	49,4	-1,3	3	9	-0,80974	0,50951
106	525	5,8	1,9	50,6	3,3	4	9	-0,92946	0,469703
107	530	-4,7	2,2	50,6	-2,6	3	6	-0,99436	0,439695
108	535	-6,0	2,3	49,2	-3,4	4	9	-0,99796	0,421588
109	540	-7,7	1,6	46,8	-4,3	2	7	-0,94184	0,414597



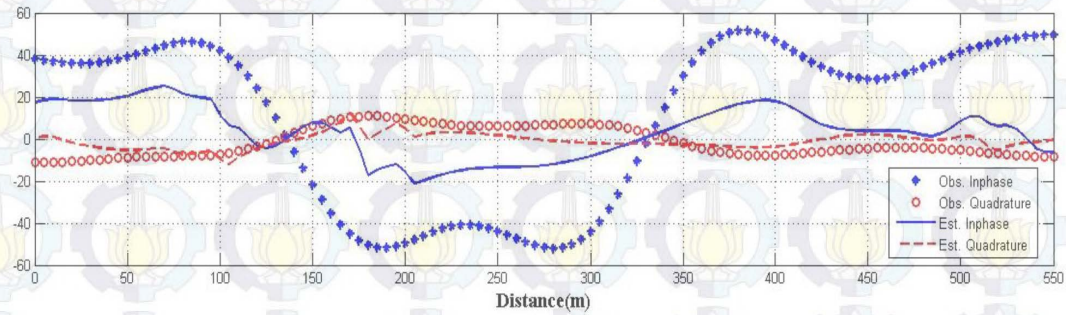
No.	Jarak (m)	Data Lapangan						Hasil Filter NA-MEMD	
		Inphase	Quadrature	T-Field	Tilt	Q	S	Inphase	Quadrature
110	545	2,3	2,1	3,6	1,3	2	9	-0,83069	0,417039
111	550	5,8	1,8	47,6	3,3	2	6	-0,67069	0,427154



## LAMPIRAN B : Hasil inversi data VLF-EM

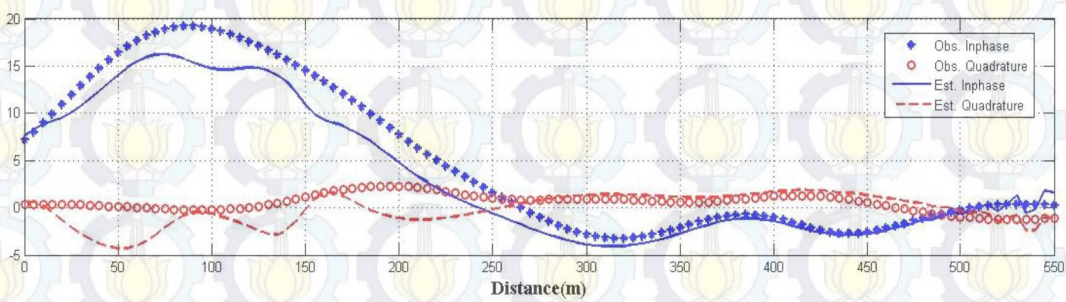
### Lintasan 1

n° iterations,final rms 7 7.328349



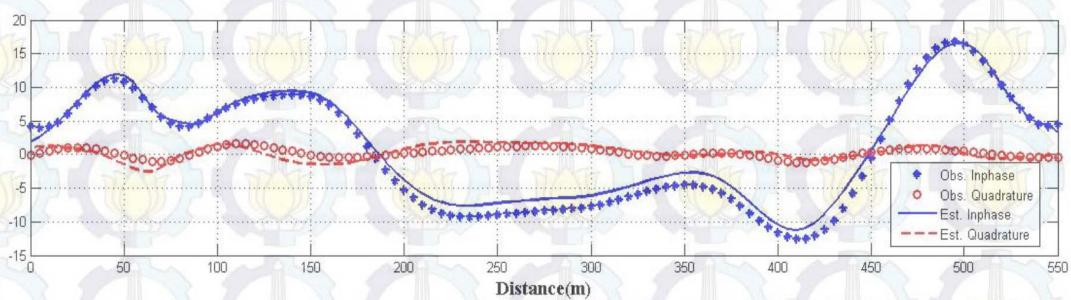
### Lintasan 2

n° iterations,final rms 50 0.6318076



### Lintasan 3

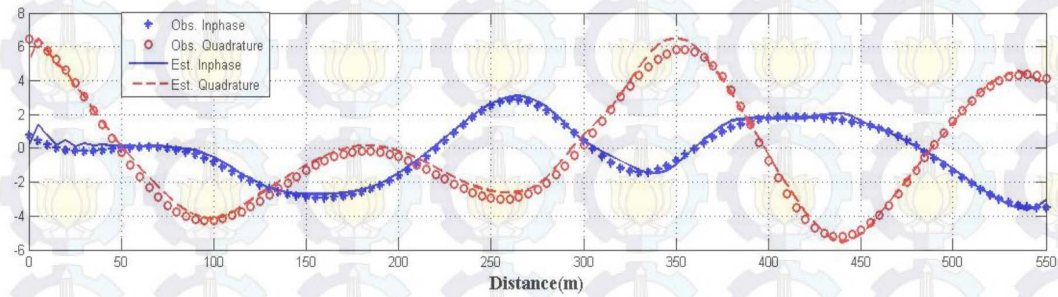
n° iterations,final rms 50 0.3440004





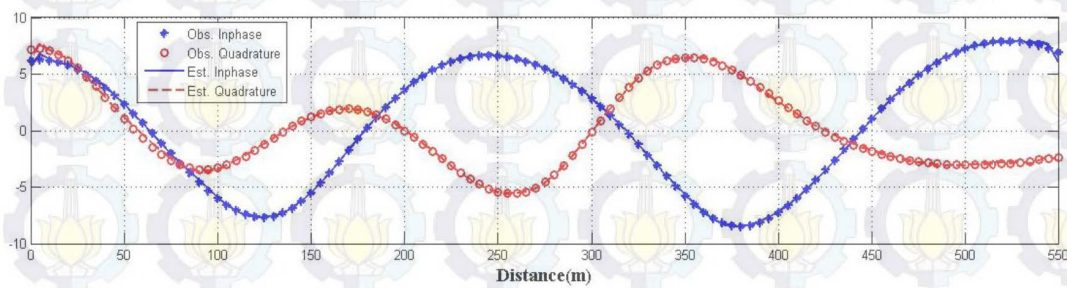
Lintasan 4

n° iterations,final rms 15 0.1043624



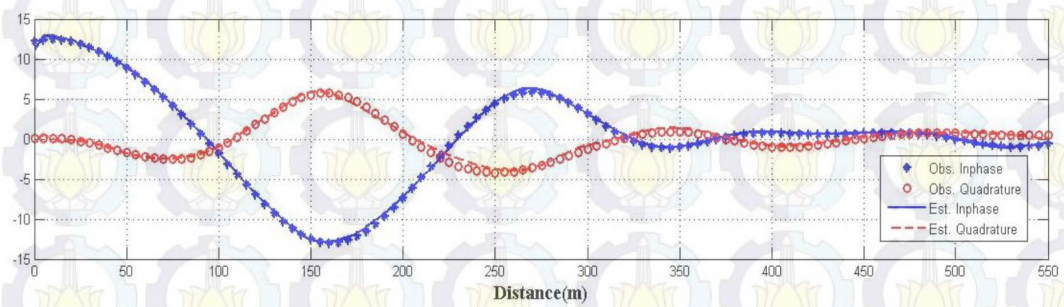
Lintasan 5

n° iterations,final rms 50 4.3887246E-02



Lintasan 6

n° iterations,final rms 50 9.1863446E-02





**LAMPIRAN C: Foto-Foto Penelitian Batuan Dolomit di Desa Melirang,  
Kecamatan Bungah, Kabupaten Gresik**



**Goa yang terbentuk karena penggalian  
dolomit**



**Persiapan alat dan penentuan lintasan  
penelitian dolomit**



**Salah satu lintasan penelitian dolomit**



**Pencatatan data VLF-EM**



Halaman ini sengaja dikosongkan

